

Fluglärm und Gesundheit 2008 - 2016

Literaturübersicht II



Stadt Frankfurt am Main

Fluglärm und Gesundheit 2008 – 2016

Literaturübersicht II

Impressum

Herausgeber:

Stadt Frankfurt am Main
Der Magistrat
Gesundheitsamt
Breite Gasse 28
60313 Frankfurt am Main

info.gesundheitsamt@stadt-frankfurt.de
www.gesundheitsamt.stadt-frankfurt.de

Autoren:

Dr. K. Steul,
Prof. Dr. U. Heudorf

Bildnachweis:

Fotolia

Druck:

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH und Co KG, 60386 Frankfurt am Main

Erscheinungsdatum:

Mai 2017

Auflage

500

Copyright

© Stadt Frankfurt am Main, Gesundheitsamt, 2017

Nachdruck ist mit Quellenanzeige gestattet

ISBN 978-3-941782-23-5

Sehr geehrte Damen und Herren,

Verkehrslärm und Gesundheit ist ein großes und wichtiges Thema in Deutschland – gerade auch im Großraum Frankfurt am Main, mit seinem umfangreichen Straßennetz, dem großen Bahnhof und insbesondere einem der größten Flughäfen Europas. Hier wurde vor über 10 Jahren eine erste Studie zur Belästigung der Bevölkerung durch Fluglärm vom Regionalen Dialogforum beauftragt und durchgeführt, die sog. RDF-Studie. In den Jahren 2011-2014 folgte die große NORAH-Studie, deren Ergebnisse Ende 2015 in umfangreichen Berichten vorgestellt und diskutiert wurden.



Das Gesundheitsamt hat nun – nach einer ersten Literaturübersicht im Jahr 2008 - eine aktualisierte Literaturübersicht zusammengestellt. Sie enthält die seit 2009 erschienenen Publikationen epidemiologischer Studien zur Frage gesundheitlicher Wirkungen von Fluglärm, teilweise auch durch andere Verkehrsarten wie Straßen- und Schienenverkehr.

Neue Erkenntnisse und politisches Handeln

1. Die Belästigung gerade durch Fluglärm ist hoch und hat – überall – in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Fluglärm wirkt bei gleicher Belastung sehr viel mehr belästigend als Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Diese Belästigung ist ernst zu nehmen, da sie mit einer schlechteren Lebensqualität und einem schlechteren Gesundheitszustand assoziiert ist.
2. Die Zusammenhänge zwischen Fluglärmbelastung und Herz-Kreislaufkrankungen sind in den verschiedenen Studien nicht einheitlich. Wenn zusätzlich zu Fluglärm gleichzeitig auch andere Verkehrsarten untersucht wurden, waren Herz-Kreislaufkrankungen stärker mit Straßen- und Schienenverkehrslärm als mit Fluglärm assoziiert. Für die Gesundheit der Bevölkerung gilt es also, neben dem Fluglärm auch die anderen Verkehrslärmarten in den Blick zu nehmen.
3. Neu ist der in der NORAH-Studie gefundene enge Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem Auftreten depressiver Episoden. Dies muss weiter untersucht werden.
4. Die NORAH-Studie hat auch gezeigt, dass wir mit der Kernruhezeit (23 Uhr bis 5 Uhr) auf dem richtigen Weg sind: die Durchschlafstörungen haben abgenommen. Allerdings gilt es, den Fluglärm in den Tagesrandzeiten, insbesondere am frühen Morgen weiter zu minimieren, um Ausschlafstörungen zu vermeiden. Hier setzt das Konzept der Lärmpausen der hessischen Landesregierung an.
5. Bei Kindern bestätigte sich der negative Effekt von Fluglärm auf den Leseerwerb. Auch wenn dieser Effekt im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren sehr gering war, hat die hessische Landesregierung gehandelt und 5,6 Millionen € für den Schallschutz an den Schulen zur Verfügung gestellt und zur Verbesserung der Lesekompetenz vier Leseclubs rund um den Flughafen gefördert.

Ich danke dem Gesundheitsamt für diesen Bericht. Wir werden als Stadt gemeinsam mit dem Land Hessen weiter daran arbeiten, Gesundheitsrisiken durch Fluglärm aber auch durch andere Verkehrslärmarten zu minimieren.

A handwritten signature in blue ink that reads "Stefan Majer". The signature is fluid and cursive, with a large initial 'S'.

Stadtrat Stefan Majer
Gesundheitsdezernent der Stadt Frankfurt am Main

Inhalt

Für den eiligen Leser und Zusammenfassung	1
Einleitung	3
I. Fluglärm und Gesundheit - Studien mit Erwachsenen	8
1. Fluglärm und Belästigung	10
2. Fluglärm und Herz-Kreislaufkrankungen.....	17
3. Lebensqualität, Gesundheit und Krankheit sowie Medikamenteneinnahme	24
4. Fluglärm und Schlaf bzw. Erholung.....	32
II. Fluglärm und Gesundheit- Studien mit Kindern	41
1. Belästigung durch Fluglärm bei Kindern	42
2. Allgemeine und psychische Gesundheit	45
3. Motivation und Kognitive Fähigkeiten.....	48
III. Detailbeschreibungen der einzelnen in diesem Bericht dargelegten Studien	53
Verzeichnis zusätzlicher Literaturstellen	214
Glossar	217
Tabellenverzeichnis	220
Abbildungsverzeichnis	224
Literaturverzeichnis	229

Für den eiligen Leser und Zusammenfassung

Hiermit legen wir Ihnen erneut eine Literaturübersicht „Fluglärm und Gesundheit“ vor, nach einem ersten Bericht im Jahr 2008. Im Jahr 2008 haben wir einen Überblick über die Studienlage von den 1970er Jahren bis 2008 gegeben, mit Studien aus der ganzen Welt, von den USA über Europa bis hin zu Asien. Damals wurden insgesamt 50 Publikationen aus mehr als 30 Jahren vorgestellt. Für den vorliegenden Bericht wurde erneut eine strukturierte Internetrecherche durchgeführt (www.pubmed.de) und alle epidemiologischen Studien - keine Laborstudien - aus dem Zeitraum 2008 bis 2016 (letzte Recherche 08/2016) eingeschlossen; wieder ca. 50 Publikationen in 8 Jahren.

Wie ist der Bericht gegliedert?

Der Bericht enthält nach einer Einleitung insgesamt drei größere Abschnitte.

Kapitel I Fluglärm und Erwachsene ist unterteilt in die Unterkapitel: 1. Belästigung durch Lärm (sog. Noise Annoyance), 2. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, 3. allgemeiner Gesundheitszustand sowie Medikamente und 4. Schlaf.

Kapitel II Fluglärm und Kinder ist gegliedert in 1. Belästigung, 2. allgemeine und psychische Gesundheit, Blutdruck und Stresshormone sowie 3. Motivation und kognitive Fähigkeiten.

Kapitel III. Detailbeschreibungen der Studien

Die Kapitel I und II und die Unterkapitel sind in sich verständlich und abgeschlossen. Am Anfang jedes Kapitels wird ein Überblick über die publizierten Studien gegeben. Die Unterkapitel starten jeweils mit einer Passage „Was war bekannt“ (bis 2008), legen die wesentlichen Ergebnisse der inzwischen erschienenen Publikationen zu dem jeweiligen Thema dar und enden mit einer kurzen Zusammenfassung / Fazit.

Kapitel III enthält die Detailbeschreibungen der vorgestellten Studien. Da etwa die Hälfte der vorgestellten Publikationen aus drei großen Studien HYENA, RANCH und NORAH stammt, wurde der Detailbeschreibung der einzelnen Publikationen eine Gesamtübersicht über die Methoden und Ergebnisse dieser Studien vorangestellt.

Was haben die neuen Publikationen gezeigt?

Die **Belästigung** gerade durch Fluglärm ist hoch und hat – überall – in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Fluglärm wirkt bei gleicher Belastung sehr viel mehr belästigend als Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Diese Belästigung ist nicht nur eng mit der Lebensqualität assoziiert, einige Untersuchungen weisen auch auf einen engeren Zusammenhang zwischen Lebensqualität und Gesundheitszustand einschließlich der Einnahme verschiedener Medikamente (Angstlöser, Blutdrucksenkende Medikamente, Antidepressiva) mit der Belästigung als mit der Belastung hin. Auch Kinder sind durch Fluglärm belästigt, wenn auch offenbar in etwas geringerem Ausmaß als ihre Eltern. Die Belästigung ist also im Sinne der Beeinträchtigung von Gesundheit und Wohlbefinden sehr ernst zu nehmen.

Viele Studienansätze der letzten Jahrzehnte hatten auf Basis des **Stressmodells** Zusammenhänge zwischen Fluglärmbelastung und stressbedingten **Herz-Kreislauf-Erkrankungen** untersucht. Die neueren, gut kontrollierten Studien zu Auswirkungen von chronischem Fluglärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen haben hier uneinheitliche Ergebnisse erbracht. Sog. Vorläufer-Parameter für Herz-Kreislauf-Erkrankungen wurden nicht konsistent mit Fluglärm assoziiert nachgewiesen, die Ergebnisse umfangreicher Blutdruckmessungen durch die Probanden selbst – inzwischen methodischer Goldstandard – waren nicht signifikant mit chronischem Fluglärm assoziiert. In

verschiedenen Ländern waren in durch Fluglärm belasteten Bevölkerungsgruppen jedoch häufiger Krankenhauseinweisungen wegen Herzkreislaufkrankungen festzustellen. In der sehr großen NORAH-Studie waren Neuerkrankungen an Herzinfarkt, Herzinsuffizienz oder Schlaganfall stärker mit Straßen- und Schienenverkehrslärm als mit Fluglärm assoziiert. Angesichts der Häufigkeit dieser Erkrankungen ist jede Risikoerhöhung ernst zu nehmen und nach Möglichkeit zu mindern. In der Schweiz zeigten sich engere Assoziationen zwischen der Sterblichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen und dem Straßenverkehrslärm als mit dem Fluglärm. Im Sinne der Gesundheit der Bevölkerung gilt es also, neben dem Fluglärm auch die anderen Verkehrslärmarten in den Blick zu nehmen.

Neu ist der in der NORAH-Studie gefundene enge Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem Auftreten **depressiver Episoden**. Hier war das Erkrankungs-Risiko durch Fluglärm bei gleicher Pegelbelastung etwa doppelt so hoch wie bei Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Hierzu wurden weitere Untersuchungen gefordert.

Die neueren Untersuchungen zu den Auswirkungen von nächtlichem Fluglärm auf den **Schlaf** haben gezeigt, dass die Befunde im Umfeld einzelner Flughäfen nicht unbedingt auf die Situation anderer Flughäfen zu übertragen sind. Darüber hinaus zeigte sich, dass die angegebene Schlafqualität und die messtechnisch erhobene Schlafqualität nicht übereinstimmen müssen. Im Umfeld des Flughafens Frankfurt verschlechterte sich zwischen 2011 und 2013 (neue Landebahn etc.) die angegebene Schlafqualität, während die messtechnisch erhobenen Parameter Gesamt-, Tiefschlafdauer, Einschlaflatenz, Wachdauer nach dem Einschlafen keine Änderung aufwiesen. Die NORAH-Studie hat gezeigt, dass durch die Kernruhezeit die Durchschlafstörungen, nicht aber die Einschlaf- und Ausschlafstörungen abgenommen haben. Letztere werden durch hohe Flugbewegungen in den Tagesrandzeiten, insbesondere am frühen Morgen, hervorgerufen.

Waren detaillierte, messtechnische Untersuchungen zur Schlafqualität bislang wegen der extrem aufwändigen Messungen der Polysomnographie stets nur auf wenige Probanden begrenzt, wurde im Rahmen der NORAH-Studie eine neue, einfachere Methode entwickelt und evaluiert, die VMR (vegetativ-motorische Reaktionen). Dies ist ein großer Fortschritt, denn hierdurch werden erstmals Untersuchungen zu Wirkungen nächtlicher Lärmbelastung auf den Schlaf an größeren Probandengruppen möglich.

Bei **Kindern** waren in verschiedenen Untersuchungen keine konsistenten Zusammenhänge zwischen Fluglärmbelastung und **Lebensqualität oder selbst angegebenem Gesundheitszustand** erkennbar, in einer Untersuchung waren Lebensqualität und Gesundheit eher mit der Belästigung als mit der Belastung assoziiert. Auch die mit dem SDQ-(Strength and difficulties)-Fragebogen erhobenen Befunde zur geistigen und körperlichen Gesundheit einschließlich Verhaltensauffälligkeiten, emotionaler Probleme etc. wiesen keine konsistenten Zusammenhänge zur Fluglärmbelastung auf.

Bestätigt wurden frühere Untersuchungsergebnisse, wonach Fluglärm den **Leseerwerb und das Leseverständnis** beeinflusste. Dieser Effekt war insbesondere bei Kindern mit der Landessprache als Muttersprache erkennbar, weniger bei Kindern mit Migrationshintergrund oder der Landessprache als Zweitsprache. Bei den sogenannten Vorläuferfähigkeiten für das Lesen wurden allerdings keine direkten Einflußfaktoren des Fluglärms erkennbar.

Andere **kognitive Faktoren und auch Gedächtnisleistungen** waren teilweise in einigen Untersuchungen durch Fluglärm beeinträchtigt, in anderen nicht; die Ergebnisse waren insgesamt also nicht konsistent.

Einleitung

Lärm

Lärm wird üblicherweise als unerwünschter Schall bezeichnet. Schall wird gebildet aus Schwingungen der Luft, aber auch durch Flüssigkeiten und Festkörper. Er ist durch Frequenz und Intensität objektiv charakterisierbar. Als Maß wird der sogenannte Schallintensitätspegel mit der Einheit Dezibel (dB) verwendet (Schalleistung pro Fläche). Der Schallintensitätspegel bezeichnet das logarithmische Verhältnis zwischen gemessener Intensität und einer Bezugsschallintensität (Babisch 2014). Jede Erhöhung des Pegels um 10 dB entspricht einer linearen Vergrößerung der Intensität um den Faktor 10 (Babisch 2014).

$$L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ dB}$$

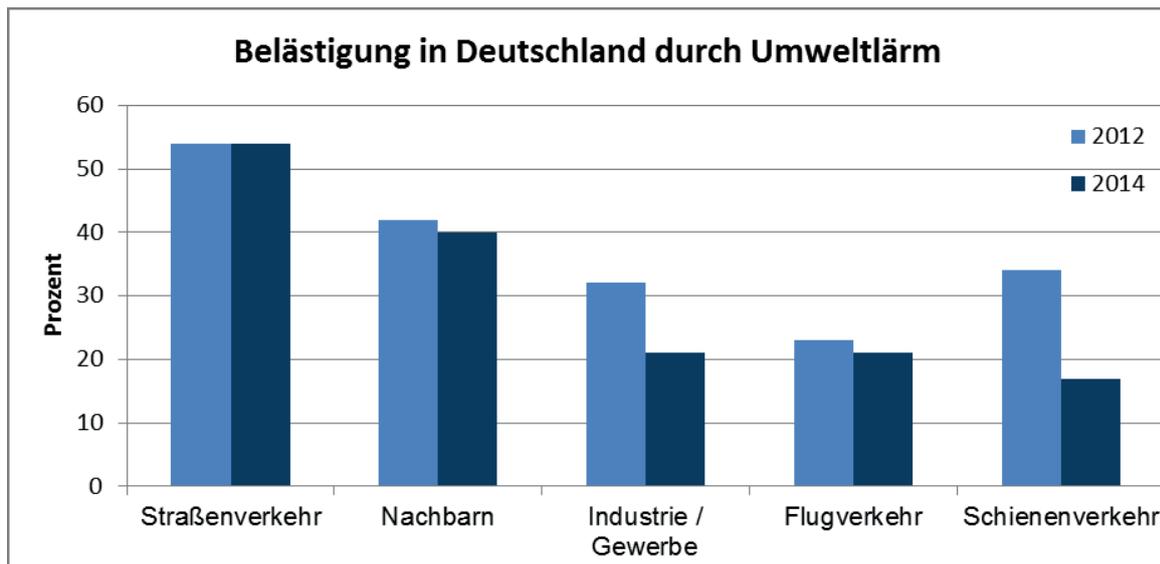
Ein Geräusch mit 80 dB überträgt demnach nicht doppelt so viel Energie wie eines mit 40 dB, sondern das 10.000 fache (10^4). In Luft stimmt der Schallintensitätspegel mit dem sogenannten Schalldruckpegel überein. Der Schalldruckpegel errechnet sich grundsätzlich aus einem logarithmierten Verhältnis zwischen dem Schalldruck (in Pascal) und einem Bezugswert. Als äquivalenter Dauerschallpegel L wird der über eine Messzeit gemittelte Schalldruckpegel bezeichnet. In Untersuchungen zu Lärmwirkungen können Schallintensitätspegel (engl. sound intensity level) und Schalldruckpegel (engl. sound pressure level) meist gleichwertig verwendet werden.

Immer wieder fällt auf, dass Geräusch-Eigenschaften im Mittelungspegel wahrscheinlich nicht angemessen reflektiert sind. Manche Untersuchungen zeigen z.B. eine stärkere Abhängigkeit der Belästigungsurteile vom Maximalpegel und der Überflughäufigkeit (Björkman et al., 1992; Guski et al., 2012). Dieses macht anschaulich, dass Fluglärm bei gleichem Mittelungspegel häufig als belästigender empfunden wird als andere Lärmquellen. Verschiedene Studien zeigen, dass nicht-akustische Einflüsse (sog. Confounder) deutlich stärker auf den beobachteten Effekt einwirken (Guski et al., 2012).

Belästigung durch Lärm

Die Hörschwelle liegt im Bereich besten Hörens bei 0dB. Die Schmerzschwelle liegt bei ca. 130 dB (Reichl 2011). Die wesentlichen Umweltlärmquellen finden sich im Verkehr, im Gewerbe- und Industriebereich und auch im Wohn- und Freizeitbereich (Kinderspielzeug, Haushaltsgeräte, Diskotheken, Schusswaffen, Sportanlagen etc.). In einer Untersuchung des Bundesministeriums für Umwelt wurden in verschiedenen Jahren Personen aus der Gesamtbevölkerung befragt, unter anderem wie stark sie sich durch verschiedene Faktoren im Alltag belästigt fühlen (Abb. 1 Belästigung der Bevölkerung in Deutschland durch Umweltlärm) (Schack K. 2015).

Abb. 1 Belästigung der Bevölkerung in Deutschland durch Umweltlärm (Schack K. 2015)



Im Jahr 2014 gaben 54% der Befragten an, sich durch Verkehrslärm belästigt zu fühlen, 40% durch Nachbarschaftslärm, jeweils 21% durch Flugverkehrs- sowie Industrie- und Gewerbelärm und 17% durch Schienenverkehrslärm (Angaben: zumindest etwas belästigt, d.h. Summe von äußerst gestört und belästigt, stark gestört oder belästigt, mittelmäßig gestört oder belästigt, etwas gestört oder belästigt).

Eine Untersuchung des Robert-Koch-Instituts, die „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland“ DEGS1 analysierte Daten von 7.988 Personen zwischen 18 bis 79 Jahren. Sie wurden unter anderem zu ihrer Belästigung durch verschiedene Lärmquellen befragt. Hier gaben 6,3% eine starke bis sehr starke Belästigung durch Straßenverkehrslärm an. 3,7% gaben an durch Nachbarschaftslärm stark belästigt zu sein und 2,1% durch Fluglärm (Laussmann et al. 2013). Dies betrifft Deutschland insgesamt; in Flughafennähe ist die Situation eine andere.

Fluglärm unterscheidet sich in vielerlei Hinsicht von anderen Lärmquellen. Er ist schwer lokalisierbar und man kann ihm nur schwer entgehen. Typische Fluglärmsituationen sind vor allem gekennzeichnet durch Einzelereignisse mit relativ hohen Pegeln und folgenden Lärmpausen. Straßenlärm nimmt dagegen häufig den Charakter eines Dauergeräusches an. Die Belästigung der Anwohner von Flughäfen unterscheidet sich in der Wahrnehmung von der der Anwohner von viel befahrenen Straßen (bei gleichem Mittelungspegel). Maximalpegel und Häufigkeit der störenden Ereignisse erhalten bei Fluglärm einen höheren Stellenwert als bei gleichmäßigeren Geräuschen (Guski R, Basner M, Brink M 2012).

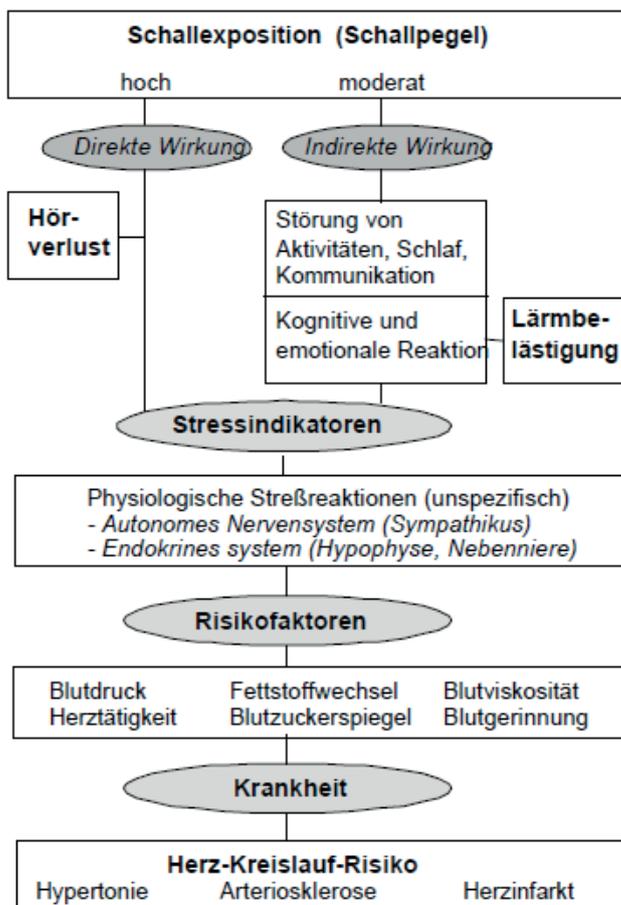
Lärmwirkung

Grundsätzlich kann bei Lärmwirkungen zwischen solchen unterschieden werden, die direkt auf das Gehör wirken (aurale), und solchen, die auf den übrigen Organismus einwirken (extra-aurale). Aurale Lärmwirkungen mit irreversibler Schädigung des Innenohr treten z.B. nach einmaliger Lärmexposition von >130 dB oder nach jahrelanger täglicher Schallbelastung von >85 dB auf. Man kennt sie bei den hier betrachteten Expositions-Verhältnissen hauptsächlich bei beruflich (Fluglärm)-Exponierten. Bei Anwohnern von Flughäfen spielen sie eine stark untergeordnete Rolle (Reichl 2011). Daher wird im hier vorliegenden Bericht über die extraauralen Wirkungen berichtet (Reichl 2011).

Man geht davon aus, dass einem Großteil der extraauralen Störungen eine unspezifische Aktivierung des zentralen und peripheren vegetativen Nervensystems zugrunde liegt, wie sie auch von anderen Stressfaktoren hervorgerufen werden können. Akut kann es stressbedingt zu einem Anstieg der Hormone Adrenalin, Noradrenalin, ACTH und Cortisol kommen. Reaktionen des Herz-Kreislaufsystems werden so erklärt.

Effekte der Lärmwirkung wurden untersucht für Herz-Kreislaufkrankungen, Schlafstörungen, psychische Erkrankungen (Depressionen) und andere. Der Bericht ist daher gegliedert entsprechend der jeweiligen untersuchten Auswirkung.

Abb. 2 Lärmwirkungsmodell (Babisch, 2002)



Expositions-Wirkungsbeziehungen

Um einen Zusammenhang zwischen Lärmbelastung (Exposition) und einer gesundheitlichen Reaktion und/oder einer Belästigungsreaktion zu beschreiben, werden häufig sogenannte Expositions-Wirkungskurven erstellt. Bei diesen wird auf der x-Achse das Maß der Lärmbelastung (meist der äquivalente Schalldruckpegel bezogen auf die untersuchte Zeit) in dB angegeben. Auf der y-Achse ist die entsprechende Reaktion verzeichnet, zum Beispiel die individuell-empfundene Belästigung durch Lärm.

Gesetzliche Vorgaben, Lärmschutz

Im Jahr 2000 gab die Weltgesundheitsbehörde (WHO) eine **Guideline** heraus mit Bewertungen von Schalldruckpegeln in Abhängigkeit von dem Umweltbereich (Innenraum, Krankenhaus, Spielplatz etc.) (**WHO, 1999**) (Siehe Tabelle 1). 2009 erschien eine weitere Guideline bezogen auf Lautstärke-Empfehlungen für die Nacht. Hier wird grundsätzlich eine Lärmempfehlung (außen) von 40 dB postuliert. Als sogenannte Interimslösung werden 55 dB angegeben (Bonney et al., 2009). Die genannten Werte stellen Qualitätsziele für die Umweltpolitik dar, die „wahrscheinlich keine Nachteile für Gesundheit und Wohlbefinden erwarten lassen“.

An dieser Stelle muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Fluglärmbelastung meist in kontinuierlich verlaufenden „Expositions-Wirkungsbeziehungen“ dargestellt werden. Schwellen für „erhebliche“ Wirkungen oder aber Unbedenklichkeit lassen sich daraus nicht direkt ableiten. Wenn dennoch in der Literatur scheinbar exakte Werte angegeben werden, oberhalb derer eine Gesundheitsgefährdung signifikant größer ist als unterhalb dieses Wertes, dann muss berücksichtigt werden, dass diese „Schwelle“ direkt auch von der Vergleichsgruppe abhängt. Je weniger die Vergleichsgruppe belastet ist, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, einen signifikanten Unterschied zu finden (Guski R, Basner M, Brink M 2012).

Tab. 1 Empfohlene „Guideline values“ der WHO für Lärm in speziellen Umweltbereichen (aus Babisch, Lärmwirkungen bei Kindern und Erwachsenen) (Babisch 2003)

Umweltbereich	Kritische Effekte	L _{Aeq} (dB)	Zeit (Stunden)	Maximalpegel (dB)
Wohnbereich aussen	Erhebliche Belästigung (tags und abends) Mäßige Belästigung (tags und abends)	55 50	16 16	- -
Wohnung innen Schlafraum innen	Sprachverständlichkeit, mäßige Belästigung (tags und abends) Schlafstörung (nachts)	35 30	16 8	45
Schlafraum aussen	Schlafstörung, Fenster offen (Messwerte vor dem Fenster)	45	8	60
Klassenräume Schule, Vorschule innen	Sprachverständlichkeit, Störung von Informationsaufnahme, Mitteilungen und Kommunikation	35	Unterricht	-
Vorschule, Schlafräume innen	Schlafstörung	30	Ruhezeit	45
Schule, Spielplatz aussen	Störung und Belästigung, externe Quellen	55	Spielzeit	-
Krankenhaus: Patientenräume innen Personalräume innen	Schlafstörung (nachts) Schlafstörung tags und nachts	30 30	8 16	40
Krankenhaus, Behandlungsräume innen	Störung von Ruhe und Erholung	So niedrig wie möglich		
Industrielle und kommerzielle Bereiche, Einkaufspassagen innen und aussen	Gehörschäden	70	24	110
Unterhaltungsveranstaltung, Festivals, Events	Gehörschäden (Besucher. <5mal/Jahr)	100	4	110
Öffentliche Veranstaltungen innen und aussen	Gehörschäden	85	1	110
Musik über Kopfhörer	Gehörschäden	85	1	110
Impulslärm Spielzeug, Feuerwerk, Waffen	Gehörschäden Kinder Gehörschäden Erwachsene			120 140 (Spitzen-schalldruck 100 mm vom Ohr entfernt)
Parklandschaften, Erholungs- und Naturschutzgebiete	Störung der Ruhe	Bestehende ruhige Aussenbereiche sollen geschützt werden und das Verhältnis von eindringenden Fremdgeräuschen und natürlichen Hintergrundgeräuschen sollte niedrig gehalten werden		

I. Fluglärm und Gesundheit - Studien mit Erwachsenen

Erneut wurde eine Literaturrecherche (Medline) durchgeführt. Alle neu erschienenen epidemiologischen Untersuchungen (Originalarbeiten) im Umfeld von Verkehrsflughäfen (Zivilflughäfen) wurden in diesen Bericht aufgenommen. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der NORAH-Untersuchung ausführlich dargestellt – sowohl die bereits in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichten Ergebnisse als auch die Daten aus den ausführlichen Forschungsberichten, die im Internet verfügbar sind (<http://www.laermstudie.de/de/wissen/veroeffentlichungen/>). Wie in der ersten Literaturübersicht zu Fluglärmwirkungen auf die Gesundheit werden die Ergebnisse zusammenfassend und im Überblick dargestellt. Dabei werden in Teil I Erwachsene folgende Themen und Studien besprochen.

Belästigung

Babisch et al., 2009 (6 Länder in Europa) HYENA
Schreckenberget al., 2010 (Deutschland) RDF
Kroesen et al., 2010 (Holland)
Krog et al., 2010 (Norwegen)
Eriksson et al., 2010 (Schweden) Belästigung und Blutdruck
Guoqing et al., 2012 (China)
Bartels et al., 2015 (Deutschland; COSMA-Studie) (Flug)-Lärm
Schreckenberget al., 2015/16 (Deutschland) NORAH
Van den Berg et al., 2015 Self reported worry and annoyance
Gjestland et al., 2015 (Vietnam)
Gjestland et al., 2016 (Norwegen)
Gille et al., 2016 (Frankreich)
Ragettli et al., 2015 (Canada) problematische Methode Telefon-Umfrage

Janssen et al., 2011 – Metaanalyse, 34 Studien

Van Gerven et al., 2009 – Metaanalyse versch. Länder, umgekehrtes U im Altersbezug

Guski et al., 2012

Blutdruck und Herz-Kreislauf-Erkrankungen incl. Stresshormone und Blutdruck-Dipping

Selander et al., 2009 (6 Länder in Europa) HYENA; Cortisol
Huss et al., 2010 (Schweiz) Mortalität
Eriksson et al., 2010 (Schweden) Belästigung und Blutdruck
Haralabidis et al., 2011 (4 Länder in Europa) HYENA nächtliches Dipping
Floud et al., 2013 (4 Länder in Europa) HYENA Herz-Kreislaufkrankheiten - Luftverschmutzung
Correia et al., 2013 (USA); Krankenhausaufnahmen kardiovaskuläre Erkrankungen; Senioren
Hansell et al., 2013 – (England, London) Sekundärdaten-basiert
Schmidt et al., 2013 (Deutschland, Mainz) Blutflußparameter, gesunde Personen
Schmidt et al., 2014 (Deutschland, Mainz) Blutflußparameter; herzkranken Personen
Evrard et al., 2015 (Frankreich) Mortalität
Evrard et al., 2016 (Frankreich) Blutdruck
Eikmann et al., 2015 (Deutschland) NORAH; Blutdruck
Seidler et al., 2015 / 2016, (Deutschland) NORAH; Herzinfarkt; Herzinsuffizienz, Schlaganfall
Eriksson et al., 2016 (Schweden); Bluthochdruck
Pearson et al., 2016 – (England, London) (Krankenhauseinweisungen wegen Herz-Kreislaufkrankungen während Flughafenschließung)
Di Huang et al., 2015 – Metaanalyse Bluthochdruck

Krebserkrankungen und psych(iatr)ische Erkrankungen (Depression und Angststörung)

Huss et al., 2010 (Schweiz) Fluglärm und Lungenkrebs (kein Zusammenhang)

Sörensen et al., 2015; Dänemark; Non-Hodgkin-Lymphom

Seidler et al., 2015/16 NORAH – depressive Episode und Brustkrebs

Beutel et al., 2016 (Mainz) – Depression und Angststörungen / Fluglärmbelastigung

Wohlbefinden, allgemeiner Gesundheitszustand, Krankheiten und Medikamente

Schreckenberget al., 2010 (Deutschland, Frankfurt) RDF-Studie – allg. Gesundheit

Brink et al., 2011 (Schweiz) sekundärdatenbasierte Untersuchung – Gesundheit Wohlbefinden

Boes et al., 2013 (Schweiz) sekundärdatenbasierte Untersuchung – Gesundheit Wohlbefinden

Floud et al., 2011 (6 Länder in Europa) HYENA, verschriebene Medikamente

Eriksson et al., 2014 (Schweden) Fluglärm und Typ2-Diabetes sowie Bauchumfang

Schreckenberget al., 2015 (Deutschland) NORAH allgemeine Gesundheit; Lebensqualität

Schlaf und Erholung

Janssen et al., 2014 (Holland)

Holt et al., 2015 (USA)

Schreckenberget al., 2015 (Deutschland) NORAH (Modul 1)

Müller et al., 2015 (Deutschland) NORAH

Perron et al., 2016 (Canada)

Kwak et al., 2016 (Korea)

In Teil III werden die einzelnen Studien - alphabetisch geordnet nach Erstautor - detaillierter vorgestellt. Da die meisten Untersuchungen im Rahmen der HYENA, RANCH, und der NORAH-Studie erhoben wurden, wird vor Besprechung der Einzelstudien zu Beginn dieses Teils ein tabellarischer Überblick über die Publikationen aus diesen Studien, deren Fragestellungen und orientierend über die Ergebnisse gegeben.

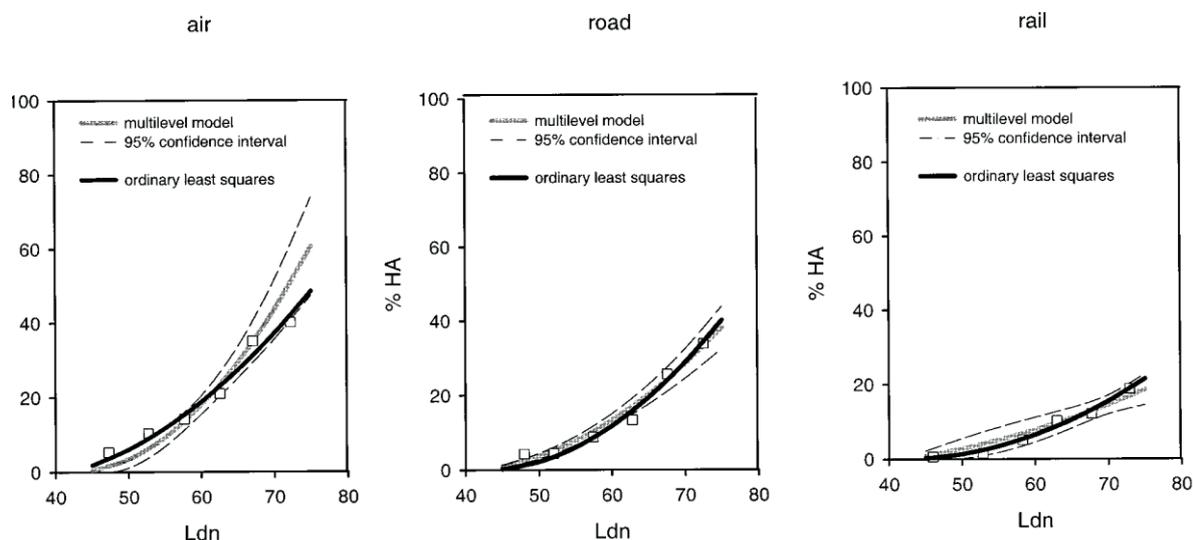
Die ausführlich vorgestellten Studien betreffen Originalstudien. Am Ende des Berichts sind darüber hinaus weitere in der vorliegenden Übersicht nicht nochmals detailliert besprochene Übersichtsartikel (Reviews) aufgeführt.

1. Fluglärm und Belästigung

Was war bekannt?

Aus vielen Untersuchungen war eine klare Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Verkehrslärm – Flug, Straße, Schiene – und der Belästigung der Betroffenen bekannt. Darüber hinaus ergaben Studien, dass bei gleichem Mittelungspegel Fluglärm als wesentlich belästigender empfunden wird als Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Dies zeigen die sog. EU-Kurven, die auf Daten beruhen, die in den 1970er bis frühen 1990er Jahren erhoben worden waren (Miedema HM 1998).

Abb. 3 Expositions-Wirkungsbeziehung für Flug-, Straßen- und Schienenverkehr in %HA (highly annoyed) auf die Lärmbelastung in L (Tag und Nacht) (Miedema HM 1998)



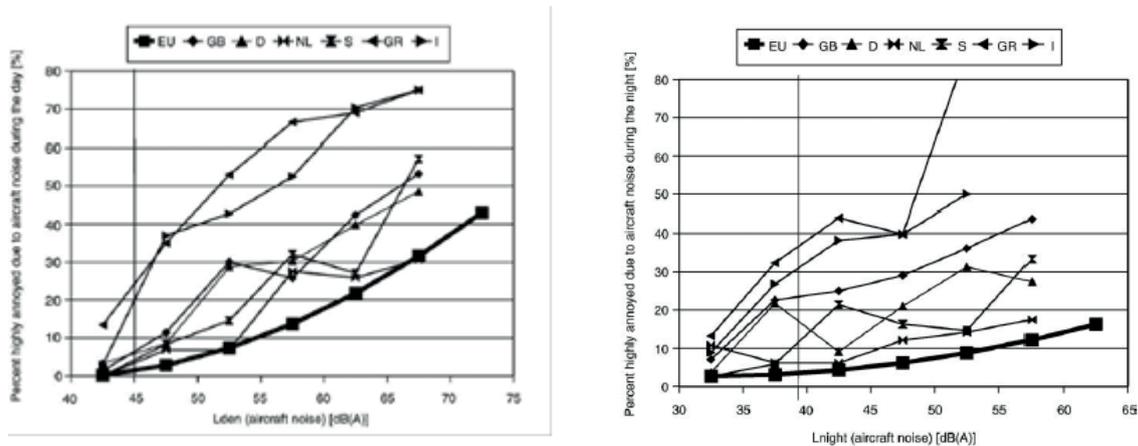
Darüber hinaus war in verschiedenen Untersuchungen gezeigt worden, dass gesundheitliche Effekte des Fluglärms wie Bluthochdruck und Herz-Kreislauferkrankungen (Maschke et al., 2003, Babisch et al., 2004), aber auch die allgemeine psychische und physische Gesundheit (Schreckenberget al., 2006) enger mit der Fluglärmbelästigung als mit dem Mittelungspegel der Fluglärmbelastung assoziiert waren (Heudorf 2008).

Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

HYENA: Die in den Jahren 2001-2003 im Rahmen der HYENA-Studie mit 4.861 Probanden im Umfeld von 6 europäischen Flughäfen ermittelten Belästigungsdaten wurden im Jahr 2009 detailliert veröffentlicht (Babisch et al., 2009). In allen Ländern lag die Belästigung durch Fluglärm deutlich höher als nach der sog. EU-Kurve zu erwarten war - sowohl bei Betrachtung der Fluglärmbelastung am Tag und in der Nacht zusammen als auch für die nächtliche Fluglärmbelastung alleine. Zwischen den verschiedenen Ländern waren darüber hinaus erhebliche Unterschiede zu erkennen. Besonders die Teilnehmer aus Griechenland und Italien überschritten mit der jeweiligen nationalen Kurve die EU-Standardkurve massiv (Babisch et al., 2009).

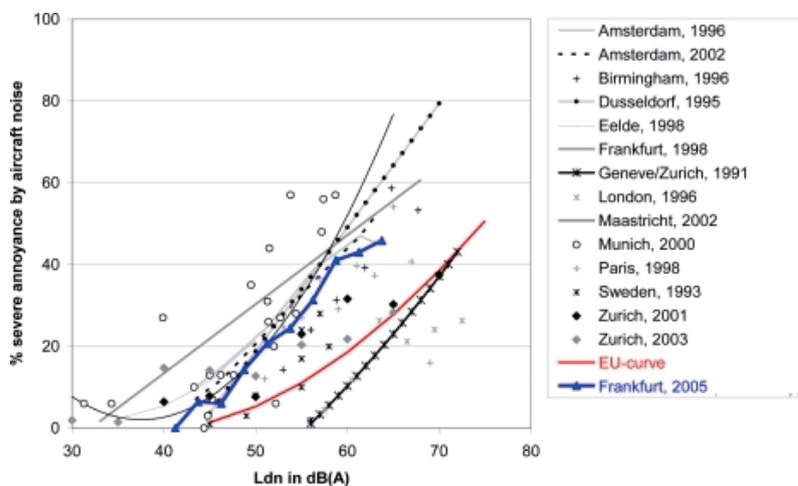
Beim Straßenverkehrslärm war demgegenüber im Vergleich mit der EU-Standardkurve keine generelle Zunahme der Belästigung erkennbar.

Abb. 4 Zusammenhang zwischen Fluglärm und individueller Belästigung in der EU Standardkurve und länderbezogenen L_{den} (links) und L_{night} (rechts) (Babisch et al., 2009)



RDF-Studie: Schreckenberget al. veröffentlichten im Jahr 2010 die Ergebnisse der Belästigungs-Daten aus der RDF-Studie. Diese Untersuchung war im Jahr 2005 im Umfeld des Flughafens Frankfurt vorgenommen worden. 2.312 Personen hatten teilgenommen und ihre Belästigung gegenüber Fluglärm in der 11-stufigen ICBEN-Skala angegeben. Auch hier zeigte sich eine deutliche Zunahme der Belästigung im Vergleich zu der EU-Kurve (Schreckenberget al., 2010).

Abb. 5 Zusammenhang zwischen Lärmbelästigung (in %HA- hochbelästigt) und gemessenem Schalldruckpegel in mehreren Studien (Schreckenberget al., 2010)



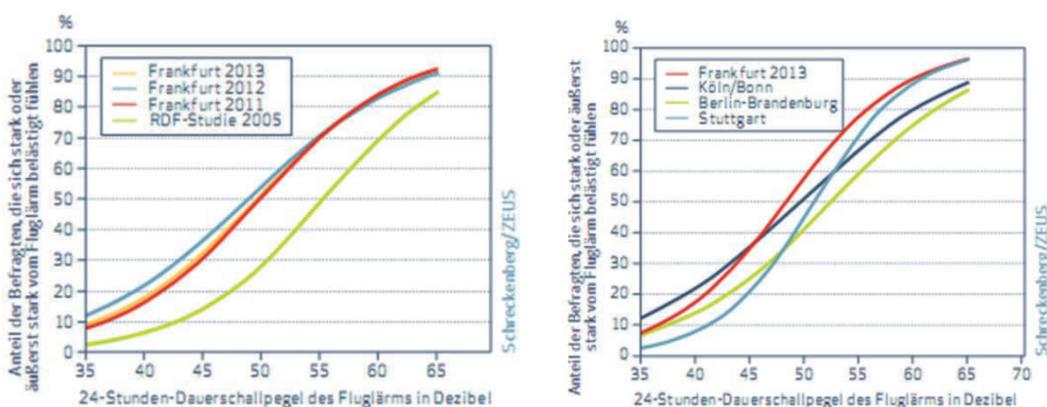
China: Auch in einer Studie in China konnten bei 764 Personen im Umfeld des Flughafens Hangzhou höhere Belästigungsraten gefunden werden als noch in den früheren Studien, die teilweise in die EU-Kurve eingegangen waren (Guoqing et al., 2012). Es scheint sich also um ein generelles und nicht auf wenige Länder bezogenes Phänomen zu handeln.

Frankreich: In einer im Jahr 2012 in 8 Städten in Frankreich durchgeführten Erhebung zeigte sich bei den Daten von 823 Teilnehmern eine schlechte Übereinstimmung zu den bestehenden sog. „Miedema-Kurven“ (2001). Die Teilnehmer waren deutlich mehr belästigt als nach der früheren Miedema-Kurve erwartet. Betrachtet wurde hier insbesondere die Kombination der Belästigung durch mehrere Lärmquellen. Es wurden neue Kurven generiert, die auch einen Zusammenhang zwischen der Gesamtbelästigung (unterteilt in wenig belästigt, mittelgradig belästigt, stark belästigt) und der Lärmexposition angeben. Bei den Kurven von Miedema (2001) war der Anteil durch Lärm belästigter Personen eher unterrepräsentiert (außer bei den durch Straßenlärm stark Belästigten) (Gille et al., 2016).

Vietnam: In einer vietnamesischen Erhebung, durchgeführt in den Jahren 2008 bis 2013, wurden 2132 Anwohner dreier Flughäfen in Vietnam zu ihrer Belästigung durch Fluglärm befragt. Desweiteren wurden Teilnehmer aus 5 Städten rekrutiert, die Angaben zur Belästigung durch Straßenlärm machten. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf der Fragestellung, inwiefern bestehende Expositions-Wirkungskurven (Miedema et al 1998) auf die Verhältnisse in Vietnam und die heutige Zeit übertragbar sind. Es zeigte sich bei dieser in den Jahren 2008-2013 in der vietnamesischen Bevölkerung durchgeführten Untersuchung laut Autoren bei Fluglärm eine gute Übereinstimmung mit den Expositions-Wirkungskurven, die 2002 in der europäischen Noise Guideline festgelegt wurden. Für Straßenlärm tolerierte die vietnamesische Bevölkerung ungefähr 5-10 dB höhere Lärmpegel als nach der EU-Kurve von 1998 zu erwarten (Gjestland et al., 2015).

NORAH: In der 2011-2013 im Umfeld von 4 verschiedenen Flughäfen in Deutschland durchgeführten NORAH-Studie konnte die Zunahme der Fluglärmbelästigung im Vergleich mit den früheren Studien bestätigt werden. Die Ergebnisse beruhen auf den Angaben von 9.244 Personen im Umfeld des Flughafens Frankfurt, 2.955 Personen im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens, 1.979 Personen im Umfeld des Flughafens Stuttgart und 5.548 Personen im Umfeld des Flughafens Berlin. Im Umfeld aller untersuchten Flughäfen lag die Fluglärmbelästigung höher als in der EU-Kurve bei vergleichbarer Belastung. Im Umfeld des Frankfurter Flughafens konnte gezeigt werden, dass die Belästigung seit der Erhebung 2005 (Schreckenberg et al., 2015) nochmals deutlich zugenommen hatte (Abb. 6).

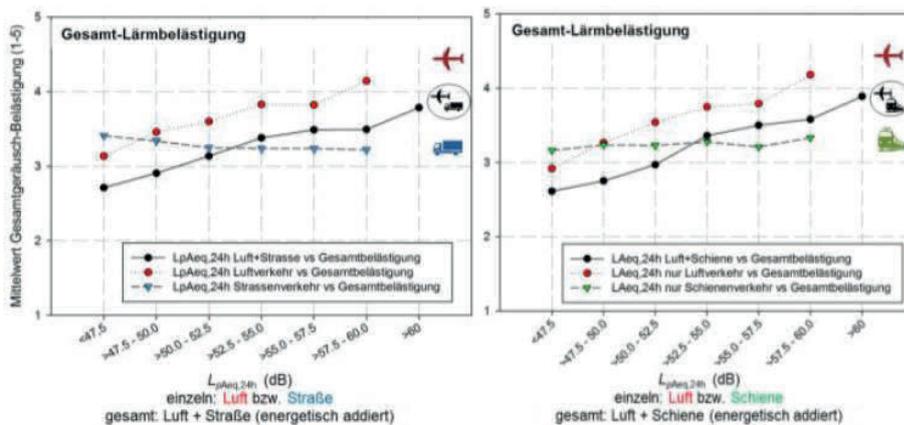
Abb. 6 Belästigung durch Fluglärm 2013 im Umfeld der Flughäfen Frankfurt, Köln/Bonn, Berlin-Brandenburg und Stuttgart (rechts); Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens in den Jahren 2005, 2011, 2012 und 2013 (links) (Schreckenberg et al., 2015)



In der NORAH-Studie wurde auch der sogenannte „**Change-Effekt**“ bestätigt, wonach die Belästigung im Umfeld von „Veränderungsflughäfen“ besonders zunimmt und über längere Zeit höher bleibt.

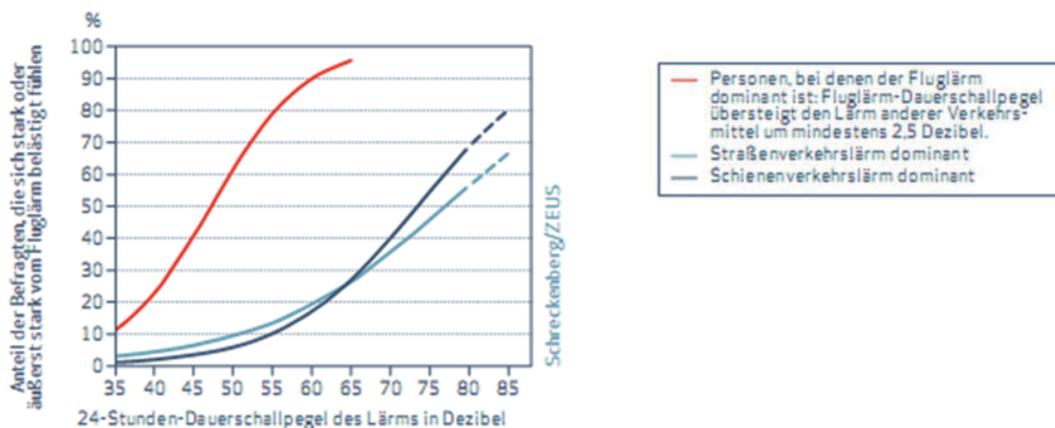
Darüber hinaus wurde gezeigt, dass bei Personen, die mehreren Lärmquellen gleichzeitig ausgesetzt sind, die Angabe zur Belästigung der am meisten belästigenden Lärmquelle – also Fluglärm – folgt („**Dominant source modell**“) (Schreckenberg et al., 2016) (Abb. 7).

Abb. 7 Gesamtbelästigung durch zwei Quellenarten in Abhängigkeit von den Quellenart-spezifischen und dem über zwei Quellenarten (links: Luft und Straße; rechts: Luft und Schiene) energetisch addierten Mittelungspegel (Schreckenberg et al., 2016)



Die früheren Befunde, wonach Fluglärm am stärksten belästigt (s. EU-Kurve) wurden in der NORAH-Studie bestätigt, allerdings war der sog. „**Schienen-Bonus**“, d.h. eine geringere Belästigung von Schienenverkehrslärm im Vergleich mit Straßenlärm nicht mehr erkennbar (Schreckenberg et al., 2015) (Abb. 8).

Abb. 8 Belästigung durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm 2011-2013 im Umfeld des Flughafens Frankfurt (NORAH) (Schreckenberg et al., 2015)



Die Hypothese, dass die Zunahme der Flugbewegungen – bei gleichzeitig leiseren Flugzeugen und somit identischem Mittelungspegel – die Ursache der höheren Lärmbelastigung durch Fluglärm darstellt, wurde vielfach diskutiert (Guski et al., 2012). In einigen Studien war die Belästigungsreaktion enger auch mit der Anzahl der Flugbewegungen resp. dem Maximalpegel der einzelnen Überflüge assoziiert als mit dem Mittelungspegel (Bartels et al., 2015).

Norwegen: Eine andere Herangehensweise an den erwähnten „Change-Effekt“ stellt eine norwegische Arbeit dar. Hier wurden in den Jahren 2014/2015 mehr als 1.500 Teilnehmer telefonisch befragt, die im Umfeld von fünf norwegischen Flughäfen lebten. Unterteilt wurden die Flughäfen in sogenannte „Low Rate Change“, LRC und „High Rate Change“, HRC Flughäfen. Definition für einen HRC Flughafen ist eine intensive Veränderung des Verkehrsaufkommens rund um den Untersuchungstermin oder eine intensive öffentliche Diskussion z.B. über Ausbauprojekte. In dieser Untersuchung zeigte sich, dass Anwohner eines sog. HRC Flughafens (in diesem Fall Oslo) bei gleichem Mittelungspegel deutlich belästigter sind als solche von LRC Flughäfen (Gjestland et al. 2016). Es zeigte sich in dieser Untersuchung auch ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Überflüge >55dB und der Belästigung.

COSMA: Bei 55 Personen im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens wurde im Jahr 2011 im und vor dem Wohngebäude über 4 Tage (2 Werk-, 2 Wochenendtage) der Fluglärm gemessen, wobei stündlich nicht nur der Mittelungspegel, sondern 26 verschiedene Lärmparameter incl. Einzelereignisse, Maximalpegel etc. gemessen wurden. Insgesamt 2.719 Situationen wurden evaluiert. Parallel dazu sollten die Probanden stündlich die individuell empfundene Lärmbelastigung und ihre soeben ausgeübte Aktivität angeben. Die angegebene Belästigung durch Fluglärm war durch den Mittelungspegel (Flug) nur zu 13,7% erklärbar, die Erklärbarkeit konnte aber durch Einbeziehen weiterer Lärmfaktoren wie die Anzahl der Überflüge sowie Situations- und Personen-bezogene Faktoren (gerade ausgeübte Tätigkeit etc.) deutlich gesteigert werden (27,6%) (Bartels et al., 2015).

Canada: Im Jahr 2011 wurden in einer telefonbasierten Umfrage 4.336 Personen über 18 Jahre im Umfeld des Flughafens von Montreal zu ihrer Belästigung (11-stufige ICBEN-Skala) durch Verkehrslärm (Flug, Straße, Schiene) befragt. Die Verkehrslärmexposition wurde abgeschätzt je nach Entfernung des Wohnorts von der Straße und einer Bahnlinie, resp. nach Wohnen innerhalb der Fluglärm NEF-Zone 25. Nach Berücksichtigung vieler Confounder nahm die angegebene Belästigung signifikant mit zunehmender Entfernung des Wohnorts von der Straße bzw. der Bahnlinie und der Entfernung zur NAT25 Kontur ab. Analog stieg die Belästigung mit zunehmender aus den Entfernungen berechneter Lärmbelastigung an, dies allerdings nur für den Straßen- und Schienenverkehrslärm, nicht bei dem berechneten Flug- und Umweltlärm. Die Autoren diskutieren diesen unerwarteten Effekt mit möglichen methodischen Problemen bei der Messung/Modellierung des Lärms (Ragetti et al., 2016).

Metaanalysen

Die generelle Zunahme der Belästigung durch Fluglärm über die Jahre wurde auch in einer meta-Analyse von Janssen et al., 2011 bestätigt. Die Autoren betrachteten 34 Studien aus den Jahren 1967 bis 2005 (vor 1980 einige Untersuchungen aus den USA, Canada und Australien, danach nur noch Untersuchungen aus Europa). Darin wurde bestätigt, dass insbesondere nach 1996 durchgeführte Studien signifikant höhere Belästigungsangaben zeigten (Janssen et al., 2011)

Auch eine Meta-Analyse aus niederländischen und internationalen Daten liefert dazu einen interessanten Aspekt (Van Gerven et al., 2009). In dieser Studie wurden Daten von insgesamt > 60.000 Menschen analysiert, die auch Populationen aus der Türkei und Japan mit einschlossen (also nicht nur westliche Populationen). Es zeigte sich hier, dass das Ausmaß der Belästigung durch eine Lärmquelle vom Alter beeinflusst wird. Dieser Trend zeigt sich in unterschiedlicher Ausprägung in allen Sub-

gruppen und in allen Lärmbereichen. Die Verhältniskurve ähnelt einem „**umgekehrten U**“ mit einer niedrigen Belästigung durch Fluglärm in jungen Jahren und bei hohem Alter und einer hohen Belästigung in mittleren Jahren. Der Peak (also Alter mit der höchsten Belästigung durch Lärm) liegt etwa bei 45 Jahren. Das bedeutet, die Altersverteilung der Studienpopulation kann das Ergebnis der Belästigungsangaben der Teilnehmer beeinflussen.

Besorgnis und Belästigung

Holland: Im Jahr 2010 beantworteten im Umfeld des Flughafens Schiphol, Amsterdam 1.968 Personen im Alter von 19-64 Jahren neben einer Vielzahl von Fragen zu Gesundheitsindikatoren wie Rauchen, körperliche Aktivität etc. auch Fragen zur Belästigung (11-stufige ICBEN-Skala) und zur Besorgnis, im Umfeld des Flughafens bzw. unter einer Flugroute zu wohnen. Es zeigten sich starke Korrelationen zwischen Belästigung durch Flugverkehr oder Wohnen unter der Einflugschneise und der Besorgnis der Menschen. Ähnliche Effekte waren bei Menschen in der Nähe vielbefahrener Straßen und an Bahnlinien zu sehen. Dabei zeigten sich enge Korrelationen zwischen der angegebenen Belästigung und der Besorgnis. Jüngere Personen, Männer und Menschen mit höherer Bildung waren weniger besorgt, sodass die Autoren schlossen, dass die Besorgnis über Sicherheit und Gesundheit sowohl mit personenbezogenen als auch mit Umweltfaktoren korreliert ist (van den Berg et al., 2015).

Belästigung und Gesundheit und Bluthochdruck

Die Belästigung durch Lärm beeinträchtigt nicht nur die Lebensqualität. In einigen Publikationen wurde nun auch der Frage nachgegangen, inwiefern die Belästigung mit anderen Wirkungen wie z.B. psychischer und physischer Gesundheit assoziiert ist, bzw. ob die Belästigung ein *Moderator* anderer Belastungs-assoziiertes Fluglärmwirkungen ist.

RDF: Bei den 2.312 Personen, die im Umfeld des Frankfurter Flughafens im Jahr 2005 befragt wurden, waren Angaben zur Vitalität, geistigen und psychischen Gesundheit sowie zu Magen-, Herz- und Gliederschmerzen enger mit der angegebenen Fluglärm-Belästigung als mit der Fluglärmbelastung am Tage assoziiert (Schreckenberget al., 2010). Es wurden ausserdem an einer Subgruppe Zusammenhänge der Umweltwahrnehmung (auch der Belästigung) zur Lärmsensitivität untersucht. Es zeigte sich, dass die Lärmsensitivität assoziiert ist mit der selbst-angegebenen körperlichen Gesundheit, nicht mit der mentalen Gesundheit. Die Lärmsensitivität erhöht die Vorhersagbarkeit der selbst-angegebenen Umweltqualität in Bezug auf Flugverkehr und Ruhe. Andere Aspekte der Umweltqualität wurden kaum beeinflusst. Lärmsensitivität fungiert als Vorhersagewert für die Reaktionen auf Lärm. Er verändert nicht die Wahrnehmung der Umwelt im Allgemeinen (Schreckenberget al., 2010).

HYENA: In der HYENA Studie mit fast 5.000 Probanden war Bluthochdruck enger mit dem Lärmpegel (Straßen- und Fluglärm kombiniert) als mit der angegebenen Lärmbelästigung assoziiert (OR 1,037 vs. OR 1,003). Wurde bei gegebener Lärmbelastung die angegebene Lärmbelästigung zusätzlich berücksichtigt, zeigte sich ein engerer Zusammenhang zum Bluthochdruck (bis OR 1,112). Allerdings war dieser Effekt nicht linear und nicht signifikant (Babischet al., 2013).

Schweden: Umgekehrt zeigten sich in einer schwedischen Untersuchung signifikante Zusammenhänge zwischen Blutdruck und Belästigung, während die Fluglärmbelastung nur bei Männern, nicht bei Frauen und nicht in der Gesamtgruppe mit dem Blutdruck assoziiert war (Eriksson et al., 2010).

Fazit aus den neueren Publikationen

1. Es gibt einen generellen **Trend zu einer höheren Fluglärmbelästigung**, die Fluglärmbelästigung hat über die letzten Jahrzehnte zugenommen – generell nicht nur in westlichen Ländern (Babisch et al., 2009; Schreckenberget al., 2015; Guoqing et al., 2012; Janssen et al., 2011). Dies zeigt sich so nicht beim Straßenverkehrslärm (Babisch et al., 2009).
2. Bei Veränderungsflughäfen ist die angegebene Belästigung höher als bei Flughäfen ohne aktuelle Veränderung (**change effect**) (Schreckenberget al., 2015).
3. **Fluglärm** wirkt bei vergleichbarem Mittelungspegel **deutlich stärker belästigend als Straßen- oder Schienenverkehrslärm**. Allerdings ist der frühere sog. „Schienenbonus“ so nicht mehr nachweisbar; denn die Belästigungsangaben über Straßen- und Schienenverkehrslärm sind weitgehend identisch (Schreckenberget al., 2015).
4. Bei gleichzeitiger Belastung durch mehrere Verkehrslärmquellen folgt die Belästigung insgesamt der „lästigsten“ Quelle; bei Kombination mit Fluglärm also dem Fluglärm (**dominant-source**) (Schreckenberget al., 2015; Schreckenberget al., 2016).
5. Die Belästigung ist nur zum Teil aus dem Mittelungspegel erklärbar; wichtig erscheinen weitere Lärm-Merkmale wie Anzahl der Überflüge beispielsweise und situations- und personenbezogene Faktoren (Bartels et al., 2009).
6. Belästigung durch Verkehrslärm ist eng assoziiert mit Besorgnis um Gesundheit und Sicherheit. Es sind neben Umgebungsfaktoren auch personenbezogene Faktoren stark beeinflussend (van den Berg et al., 2015).
7. Die Studienlage zum Zusammenhang zwischen Belästigung und selbst angegebener Gesundheit (Schreckenberget al., 2010) oder mit Untersuchungsbefunden wie z.B. Blutdruck sind inkonsistent (Eriksson et al., 2010;). Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Bedeutung der Belästigung für die physische und psychische Gesundheit zu bestimmen.

2. Fluglärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Was war bekannt?

Bereits seit den 1970er Jahren wurden Studien durchgeführt, die Zusammenhänge von Fluglärm und kardiovaskulären Erkrankungen zeigen. Siehe hierzu auch „Fluglärm und Gesundheit“ von 2008 (Heudorf 2008). Untersucht wurde das Auftreten von schwerwiegenden kardiovaskulären Erkrankungen, der Verbrauch von Herz-Kreislauf-Medikamenten und insbesondere auch das Auftreten von Bluthochdruck. Bluthochdruck spielt eine Rolle als Risikofaktor für andere schwerwiegende Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Infarkte und Schlaganfall. Die entsprechende Zusammenfassung aus dem letzten Bericht wird nachfolgend zitiert.

Zusammenfassung: Fluglärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen

In seiner sehr umfassenden Übersichtsarbeit (Babisch 2006), in welcher 61 epidemiologische Studien zu Verkehrslärm und Herz-Kreislauf-Risiko ausgewertet werden, kommt Babisch zu dem Schluß, dass angesichts nicht übereinstimmender Ergebnisse derzeit keine Evidenz dafür besteht, dass Verkehrslärm zu höheren **Blutdruck**werten in der Bevölkerung führt. Er führt weiter aus: „Das heißt jedoch nicht, dass die Lärmhypothese an sich verworfen werden kann. Die Studien haben oft ungenügende Power, enge oder geringe Expositionsbereiche oder andere Begrenzungen im Studiendesign. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoller, den manifesten klinischen Bluthochdruck zu betrachten als Mittelwerte von Blutdruckmessungen“. Im Hinblick auf den **Bluthochdruck** weisen jedoch alle Studien auf ein höheres Risiko bei Fluglärmexponierten im Vergleich mit Nicht-Exponierten hin. Es gibt wenig Hinweise aus den Studien, dass Lärmexpositionen < 60 dB(A) am Tage ein Risiko für Herzinfarkt bedeuten. Bei Verkehrslärmbelastung über 60 dB(A) jedoch weisen fast alle Studien gleichermaßen auf ein erhöhtes Herzinfarkt-Risiko hin. (Dieses ist offenbar insbesondere bei nächtlichem Verkehrslärm erhöht (Maschke et al., 2003; Babisch et al., 2004)).

2006 bewertet Babisch in seiner umfassenden Übersichtsarbeit die Evidenz eines Zusammenhangs zwischen Verkehrslärmbelastung und Bluthochdruck als begrenzt bis ausreichend („limited or sufficient evidence“, zwischen Verkehrslärmbelastung und Herzinfarkt als ausreichend („sufficient evidence“).

Seither sind einige weitere Untersuchungen zu den Auswirkungen von Verkehrslärm (Fluglärm) auf den Blutdruck und das Herz-Kreislaufsystem erschienen, die diese Bewertung von Babisch (2006) unterstützen: Eriksson et al. (2007) konnten zeigen, dass 10 Jahre Wohnen in Fluglärm-exponierten Gebieten (> 50 dB(A)) mit einer ca. 20-prozentigen Risikoerhöhung (sign.) für neu aufgetretenen Bluthochdruck verbunden ist. In der HYENA-Studie (Jarup et al., 2008) wurden signifikante Zusammenhänge zwischen dem Nachtfluglärm und der Rate an Bluthochdruck bei Exponierten gefunden (nicht Fluglärm am Tage). In einer vertieften Teiluntersuchung zur HYENA-Studie zeigte sich, dass nach Lärmereignissen ab 35 dB(A) im Schlafraum (bei Fluglärm, aber auch bei anderen Lärmereignissen wie Straßen- oder Innenraumlärm) die Blutdruckwerte anstiegen (Haralabidis et al., 2008). Neuere Studien zu Fluglärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Herzinfarkt liegen nicht vor.“

Fluglärm und Gesundheit, Literaturübersicht 2008

Die Ergebnisse der HYENA-Studie zu Blutdruck in Abhängigkeit vom Fluglärm (Tag und Nacht) sowie vom Straßenverkehrslärm im Vergleich zum Fluglärm zeigen die nachfolgenden Abbildungen.

Abb. 9 HYENA Studie: ORs für Bluthochdruck in Abhängigkeit vom Fluglärm (Tag und Nacht) (Oben); Länder-spezifische OR für Bluthochdruck durch Lärmexposition (Unten) (Jarup et al., 2008)

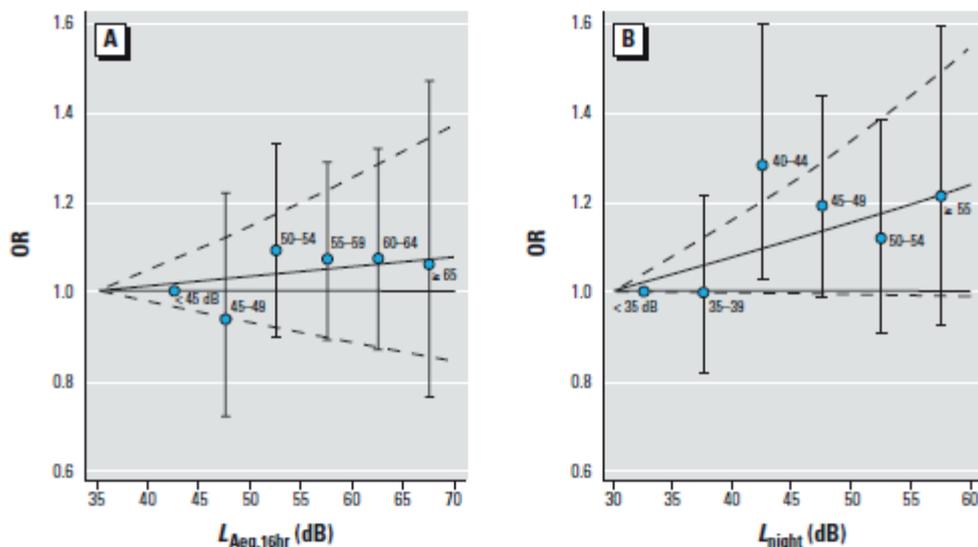


Figure 1. ORs of hypertension in relation to aircraft noise (5-dB categories). $L_{Aeq,16hr}$ (A) and L_{night} (B) separately included in the model. Adjusted for country, age, sex, BMI, alcohol intake, education, and exercise. The error bars denote 95% CIs for the categorical (5-dB) analysis. The unbroken and broken curves show the ORs and corresponding 95% CIs for the continuous analysis.

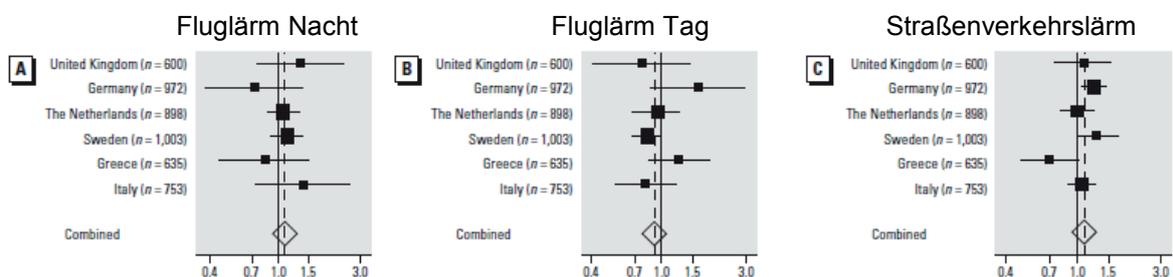


Figure 3. Forest plot showing country-specific ORs for hypertension per 10-dB increase in noise exposure, in relation to (A) L_{night} and (B) $L_{Aeq,16hr}$ aircraft noise and (C) $L_{Aeq,24hr}$ road traffic noise.

Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

Bisherige Hypothesen gehen davon aus, dass manifeste Herz-Kreislauf-Erkrankungen infolge von Stressreaktionen und/oder langfristig erhöhten Blutdruckwerten entstehen können. Als Marker für Stress wurde in verschiedenen Untersuchungen – insbesondere zu Auswirkungen nächtlichen Fluglärms auf den Schlaf – das „Stress-Hormon“ Cortisol im Urin oder Speichel untersucht.

Blut(hoch)druck und mögliche Vorläufer

HYENA: Verkehrslärmbelastung und Stresshormonwerte (Cortisol): Selander et al., berichteten im Jahr 2009 über die Ergebnisse der Cortisol-Analysen in einer Untergruppe von 439 der 4.861 Studienteilnehmer der HYENA Studie aus den Jahren 2001-2003 im Umfeld von Flughäfen in 6 europäischen Ländern (Selander et al., 2009). Ihnen wurde dreimal an einem Tag eine Speichelprobe abgenommen. In der Bewertung wurden Confounder wie Geschlecht, Alter, Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität und Bildungsstand berücksichtigt. In der Gesamtgruppe und in der Gruppe der Männer alleine konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung an der

Wohnung/Wohnhaus und der Cortisolkonzentration gefunden werden. Frauen jedoch, die an ihrer Wohnadresse einer Fluglärmbelastung von mehr als 60 dB ausgesetzt waren, wiesen 6-fach höhere Cortisol-Konzentrationen im Speichel auf als Frauen mit einer Fluglärmbelastung von unter 50 dB. Die Autoren werteten diese Ergebnisse als Hinweis für die These, dass eine Zunahme der kardiovaskulären Erkrankungen durch hohe Fluglärmbelastung möglicherweise Stresshormon-vermittelt ist.

Endotheliale Funktion, FMD: Pathophysiologisch können auch andere Faktoren in Betracht gezogen werden, den kardiovaskulären Effekt von nächtlichem Fluglärm zu vermitteln. In einer deutschen Studie an 60 kardiovaskulär vorbelasteten Personen im Umfeld der Uni Mainz zeigte sich ein Zusammenhang zwischen morgendlicher Messung eines Blutflußparameters (FMD) in der Arterie (A. brachialis) und der nächtlichen Lärmbelastung. In dieser Untersuchung wurden allen Teilnehmenden in den „Lärmnächten“ 60 Fluglärmereignisse pro Nacht vorgespielt, in einer „Kontrollnacht“ keine Lärmereignisse. Am Morgen wurden dann jeweils bestimmte Parameter gemessen. Dazu gehörten auch Blutdruckmessungen und einige Laborwerte (Cortisol, Adrenalin etc.) (Schmidt et al., 2015).

Ein signifikanter Zusammenhang zeigte sich in dieser Studie für den Bluthochdruck (höher nach Fluglärmnacht) und den sogenannten FMD (geringer nach Fluglärmnacht). Die Schlafqualität in den Lärmnächten war signifikant schlechter. Sie beeinflusste aber nicht unabhängig den FMD (der Parameter für **die endotheliale Funktion**) (Schmidt et al., 2015). Der Ansatz der Autoren war hier, Hinweise für den Prozess der kardiovaskulären Erkrankung durch Fluglärm zu erhalten: Führt Fluglärm über eine Beeinträchtigung der endothelialen Funktion (hier gemessen per FMD) zu einer Häufung von kardiovaskulären Ereignissen in Fluglärm-belasteten Gebieten?

In dieser Studie wurde neben der FMD auch der Gefäßdurchmesser und der sogenannte VTI (Integral aus Geschwindigkeit und Zeit) erhoben. Bei beiden Parametern zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zur nächtlichen Lärmbelastung – ebensowenig wie zu den weiteren erhobenen Laborparametern (u.a. Cortisol, Adrenalin, Entzündungsparameter).

Das Studiendesign hatte das Ziel, einen kurzfristigen Effekt der Lärmbelastung in der Nacht zuvor nachzuweisen. Das heisst eher langfristige Effekte zum Beispiel auf Cortisol etc. müssen daher nicht in diesem Design nachweisbar sein.

Es wurde von der annähernd gleichen Arbeitsgruppe im Jahr zuvor eine ähnliche Analyse veröffentlicht (in diesem Fall mit Herz-gesunden Teilnehmern). In dieser Analyse zeigte sich kein signifikanter Effekt auf FMD, jedoch war bei diesen Herz-gesunden Personen die Adrenalin-Konzentration nach Lärmbelastungs-Nacht signifikant erhöht. Die Autoren diskutierten die ggf. Stress-induzierte Absonderung von Sauerstoffradikalen (oxidativer Stress) als Faktor der Vermittlung der endothelialen Dysfunktion (Schmidt et al., 2013).

HYENA: nächtliches Blutdruck-Dipping: Bei Herz-Gesunden fällt der Blutdruck in der Nacht in der Regel ab (sog. Blutdruck-Dipping) und das Herz kann sich erholen. Eine Hypothese lautete, dass bei nächtlicher Lärmbelastung diese Blutdruckabsenkung ausfällt und bei längerem Bestehen zu einem manifesten Bluthochdruck führen kann.

Vor diesem Hintergrund wurde in den Jahren 2003-2005 in einer Untergruppe von 149 Personen aus 4 europäischen Ländern der nächtliche Verlauf der Blutdruckwerte untersucht und in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung, die zum Zeitpunkt der Blutdruckmessung im unmittelbaren Umfeld des Wohnhauses gemessen wurde, ausgewertet. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer Verminderung der nächtlichen Blutdruckabsenkung und dem Straßenverkehrslärm, aber keine

Zusammenhänge zum nächtlichen Fluglärm oder zum Fluglärm über 24 Stunden (Haralabidis et al., 2011).

NORAH: Blutdruck und Verkehrslärm: Ein Modul der NORAH-Untersuchung betraf die Frage eines möglichen Zusammenhangs zwischen Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm und den Blutdruckwerten. Im Modul 2 Gesundheit - Teilstudie 2, Blutdruck - mussten 844 erwachsene freiwillige Teilnehmer im Alter von 19-82 Jahren jeweils morgens und abends mit einem vollautomatischen Meßgerät ihre Blutdruckwerte messen (Eikmann et al., 2015). Die Ergebnisse wurden in Echtzeit direkt elektronisch an das Studienzentrum übertragen, aber auch von den Teilnehmern handschriftlich protokolliert. In der Auswertung zeigte sich nach Berücksichtigung wesentlicher Confounder wie Geschlecht, Alter, sozioökonomischer Status, Rauchen, körperliche Aktivität, Alkoholkonsum und Taille-Hüft Verhältnis (assoziiert mit dem BMI) „überwiegend positive, jedoch durchweg quantitativ geringe Effektschätzer ohne statistische Signifikanz für die untersuchten Zusammenhänge zwischen der Expositionen Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen“ und dem systolischen und diastolischen Blutdruck, der Herzfrequenz und dem PROCAM-Score. Dieses Ergebnis war auch in einer Wiederholungsuntersuchung nach 12 Monaten (Längsschnitt) identisch. Wurden jedoch die Ergebnisse der Teilnehmer differenziert nach bisheriger Wohndauer in der jetzigen Wohnung betrachtet, zeigte sich bei den Probanden, die weniger als 14 Jahre dort lebten, ein geringer, aber signifikanter Einfluß der Fluglärmbelastung zwischen 18 und 6 Uhr und dem systolischen Blutdruck und der Herzfrequenz. Dieser war bei Teilnehmern mit längerer Wohndauer (14-26 Jahre und >26 Jahre) nicht nachweisbar. Bei 132 der Teilnehmer wurde im Rahmen der Studie ein Bluthochdruck festgestellt. Ein Zusammenhang mit der Fluglärmbelastung war nicht festzustellen.

DEBATS, Frankreich: In Frankreich wurde eine Untersuchung dreier großer Verkehrsflughäfen an 1.244 Anwohnern über 18 Jahren durchgeführt (Toulouse, Lyon, Paris). In einem persönlichen Interview wurden Fragebögen durch die Teilnehmer ausgefüllt in Bezug auf mögliche Confounder, individuell empfundene Belästigung und bekannte Diagnosen einer Herz-Kreislauf-Erkrankung. Es wurden Größe und Gewicht gemessen und Blutdruckmessungen durchgeführt. Es zeigte sich in dieser Studie ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Risiko eines Bluthochdrucks und der nächtlichen Fluglärmbelastung bei Männern. Ein signifikanter Zuwachs zeigte sich bei den Frauen nur für den systolischen Blutdruckwert und zwar für den äquivalenten Dauerschalldruckpegel L_{DEN} und $L_{AEq\ 16h}$ (Evrard et al., 2016).

Schweden: In der im Kapitel Belästigung bereits besprochenen schwedischen Untersuchung zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung und dem Risiko für Bluthochdruck nicht in der Gesamtpopulation (4.721 Befragte im Alter von 35-56 Jahren bei Beginn; Längsschnittuntersuchung nach 8-10 Jahren). Nur bei Betrachtung der Nichtraucher zeigte sich ein signifikanter Anstieg des Risikos für Bluthochdruck pro 5 dB Fluglärm bei Männern (RR 1.21 (1,05-1,39), aber nicht bei Frauen (RR 0,97 (0,83-1,13)). In der Gesamtgruppe war jedoch das Bluthochdruck-Risiko am engsten mit der angegebenen Belästigung durch Fluglärm assoziiert (RR 1,42 (1,11-1,82)). (Eriksson et al., 2010).

Herz-Kreislauf-Erkrankungen – Sekundärdatenbasierte Krankenkassenstudien – Neuerkrankungen – Krankenhausaufnahmen

NORAH: Verkehrslärm und kardiovaskuläre Erkrankungen: Die Bedeutung von Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm auf die Rate von Neuerkrankungen kardiovaskulärer Krankheiten wie Herzinfarkt, Herzinsuffizienz und Schlaganfall wurden im **Modul 2, Teilstudie 1** der NORAH-Studie im Rahmen einer Sekundärdatenanalyse von Krankenkassendaten im Umfeld des Frankfurter Flughafens untersucht (Seidler et al., 2015). Für 1.026.658 Versicherte über 40 Jahre von drei großen

Krankenkassen (entspr. 23% der über 40-Jährigen in der Studienregion) wurden Daten zu **ambulanten und stationären Diagnosen** berücksichtigt. Für alle Teilnehmer wurden anhand der Wohnadressen retrospektiv die Daten der Flug-, Straßen- und Schienenverkehrs-Lärmbelastung bis zu 15 Jahre vor der Untersuchung (Krankenkassendaten aus den Jahren 2005-2010) hausgenau berechnet (unter Berücksichtigung des sogenannten Klötzchenmodells soweit möglich auch das Stockwerk der Wohnung und der Ausrichtung des Schlafzimmers). Als Confounder wurden Geschlecht, Alter, Bildung und Beruf (aus den Tätigkeitskennzeichen) sowie die regionale Rate der Bezieher von Sozialhilfe berücksichtigt. In einer Untergruppe von Herz-Kreislauf-Erkrankten und einer entsprechenden Kontrollgruppe wurden im Jahr 2011-2013 zusätzlich per Fragebogen weitere Confounder erfasst (Bildung, Beruf, Einkommen, Rauchen, Größe, Gewicht, Alkoholkonsum, körperliche Aktivität, Nachtschichtarbeit) sowie Fakten, die eine Abschätzung des Innenraumpegels ermöglichen (Ausstattung der Fenster). Die Zusammenhänge zwischen Neuerkrankungsraten (Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, Schlaganfall) und Verkehrslärm waren bei Straßen- und Schienenverkehrslärm größer als bei Fluglärm. Bei dem Herzinfarkt- und Schlaganfall-Risiko zeigte sich mit zunehmender Fluglärmbelastung ein inverser Effekt (Tab. 2).

Tab. 2 NORAH Studie: Lineare Risikoänderung pro 10 dB L_{Aeq24h} Schallpegelzunahme für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Seidler et al., 2015)

	Fluglärm	Straßenverkehrslärm	Schienenverkehrslärm
Herzinfarkt			
Alle	-0,7% (n.s.)	+2,8% (sign.)	+2,3% (sign.)
Männer	-0,7% (n.s.)	+3,4% (sign.)	+1,4% (n.s.)
Frauen	-0,7% (n.s.)	+1,6% (n.s.)	+2,9% (sign.)
Herzinsuffizienz			
Alle	+1,6% (sign.)	+2,4% (sign.)	+3,1% (sign.)
Männer	+1,1% (n.s.)	+2,4% (sign.)	+1,0% (n.s.)
Frauen	+2,1% (sign.)	+2,2% (sign.)	+ 4,7% (sign.)
Schlaganfall			
Alle	-2,4% (n.s.)	+1,7% (sign.)	+1,8% (sign.)
Männer	-0,3% (n.s.)	+1,8% (n.s.)	+1,5% (n.s.)
Frauen	-4,1% (sign.)	+1,5% (n.s.)	+1,6% (n.s.)

Die Ergebnisse zum Herzinfarkt Risiko wurden inzwischen im deutschen Ärzteblatt veröffentlicht (Seidler et al., 2016). Für alle drei Verkehrslärmarten finden sich Zusammenhänge zur Diagnose Herzinfarkt. Fluglärmpegel ab 60 dB sind hier mit einem erhöhten Herzinfarkt-Risiko verbunden. Bei Einschränkungen auf die bis 2014/2015 verstorbenen Herzinfarktpatienten erreicht der Zusammenhang statistische Signifikanz. In dieser Subgruppe waren die Risikoschätzer (bei allen drei Verkehrslärmarten) mit 3,2% bis 3,9% pro 10dB Pegelanstieg verbunden. Die Daten zu Herzinsuffizienz wurden im IntJ Hyg Environ Health im September 2016 publiziert (Seidler et al., 2016).

USA: Eine weitere **sekundärdatenbasierte Studie mit Krankenversicherungsdaten** wurde 2009 in den USA durchgeführt mit Daten von ca. 6 Millionen Senioren über 65 Jahren, die im Umfeld von 89 Flughäfen lebten und im Jahr 2009 wegen kardiovaskulären Erkrankungen in ein Krankenhaus aufgenommen wurden (Correia et al., 2013). Die Fluglärmexposition wurde von der amerikanischen Luftfahrtbehörde zur Verfügung gestellt und anhand der Postleitzahl in zwei verschiedenen Modellen - ohne und mit Bevölkerungsgewichtung - in Bezug auf den Postleitzahlbereich genutzt. Die Krankenhauseinweisungsdaten wurden in drei Stufen adjustiert: 1) Geschlecht, Alter, ethnische Herkunft; 2) zusätzlich mutmaßlicher sozioökonomischer Status der Region; 3) zusätzlich Straßenlärm und Luftverschmutzung berücksichtigt. Im ersten Modell (ohne Bevölkerungsgewichtung) zeigte sich nach Adjustierung für die obengenannten Parameter (Stufe 3) eine Risikoerhöhung um 3,5% (sign.). Im

Rechenmodell mit Bevölkerungsgewichtung erreichte der Zusammenhang nach Adjustierung für den mutmaßlichen sozioökonomischen Status und Straßenlärm/Luftverschmutzung keine statistische Signifikanz mehr.

London: In einer britischen Untersuchung mit Daten der britischen Statistikbehörde von Bezirken rund um den Flughafen London Heathrow wurden Krankenhauseinweisungen und Todesfälle durch die Diagnosen Schlaganfall, koronare Herzkrankheit (KHK) und allgemeine kardiovaskuläre Erkrankungen analysiert. Es sollte ein Zusammenhang zur Fluglärmbelastung an der Wohnadresse untersucht werden. Eine hohe Fluglärmbelastung (> 63 dBA) im Vergleich mit einer niedrigen Belastung (<51 dBA) war in dieser sekundärdatenbasierten Untersuchung assoziiert mit einem erhöhten Erkrankungs-Risiko für Schlaganfälle (OR 1,24), koronare Herzerkrankung KHK (OR 1,21) und kardiovaskuläre Erkrankungen (OR 1,14) allgemein. Die Autoren beschrieben die signifikanten Zusammenhänge, schlossen jedoch Einflüsse weiterer Confounder nicht aus (Hansell et al., 2013).

Tab. 3 Krankenhausaufnahme und Mortalität an Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Koronarer Herzerkrankung und Schlaganfall bei hoher und niedriger Fluglärmbelastung im Umfeld des Flughafens London Heathrow (Relatives Risiko) (Hansell et al., 2013)

	Personen	>63 vs. ≤51 dB Tag	>55 vs. ≤50 dB Nacht
Krankenhausaufnahme			
Schlaganfall	16.983	1,24	1,29
Koronare Herzerkrankung	64.448	1,21	1,12
Herz-Kreislauf-Erkrankung	187.226	1,14	1,09
Mortalität (Sterblichkeit)			
Schlaganfall	9.803	1,21 (n.s.)	1,23
Koronare Herzerkrankung	22.613	1,15	1,11 (n.s.)
Herz-Kreislauf-Erkrankung	48.347	1,16	1,14

Schlaganfall (ICD-10 codes I61, I63-I64, Koronare Herzerkrankung (ICD-10 I20-I25), Herz-Kreislauf-Erkrankungen (ICD-10 Chapter I)

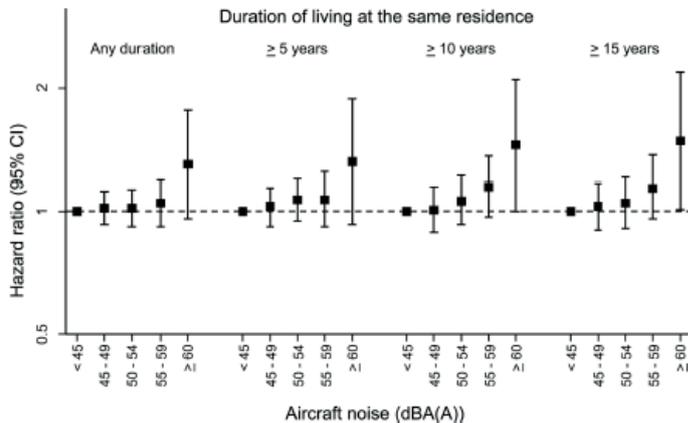
London: Krankenhausaufnahme während Schließung des Flughafens. Als der Flughafen London Heathrow im April 2010 wegen des Vulkanausbruchs in Island für 6 Tage geschlossen wurde, wurden die Krankenhauseinweisungen bei den Menschen, die mehr als 55 dB Fluglärm ausgesetzt waren (0,7 Millionen) untersucht: es zeigte sich keine Abnahme der Krankenhausaufnahmen, weder unmittelbar noch in einem Modell, dass eine Verzögerung von 1 bis zu 7 Tage berücksichtigte (Pearson et al., 2016).

Tod durch kardiovaskuläre Erkrankungen – Sterberegisterdaten und andere Sozialstatistiken

Schweiz: Weitere Erkenntnisse erbrachten Registerstudien wie eine **Studie aus dem Schweizer Melderegister**. Hier wurden die Todesursachen durch kardiovaskuläre Erkrankungen aus den Jahren 2000-2005 im Hinblick auf einen Zusammenhang mit der Belastung durch Fluglärm untersucht (Huss et al., 2010). Zur Analyse wurde die letzte Adresse der Personen in einem nationalen Lärmmodell auf die Fluglärmbelastung überprüft. In einer solchen Studie, in der keine Befragung der einzelnen - verstorbenen - Personen möglich ist, wird die Betrachtung möglicher Confounder im Allgemeinen erschwert. Hier lagen Daten zu Geschlecht, Alter und Familienstand vor. Auch der Bildungsstand wurde als möglicher Confounder betrachtet. Ein signifikantes Ergebnis zeigte sich für die Diagnose „Herzinfarkt“ in der Gruppe der sehr stark Belasteten (> 60 dB) im Vergleich zu den wenig Belasteten (<45 dB) (OR 1,3). Bei den anderen „Mortalitätspunkten“ (alle kardiovaskuläre Erkrankungen, Schlaganfall) zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zur Fluglärmbelastung am Wohnort.

Desweiteren wurde in dieser Untersuchung auch der Einfluss von Luftverschmutzung und Straßenverkehrslärm auf die Mortalität untersucht. Auch hier ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge.

Abb. 10 Mortalität durch Herzinfarkt in OR in Abhängigkeit von der Wohndauer an Fluglärm-exponierten Orten (Huss et al., 2010)



Frankreich: In einer Studie mit Daten aus dem **französischen Sterberegister (2007-2010)** zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung am Wohnort und der Mortalität durch kardiovaskuläre Erkrankungen (Evrard et al., 2015). Auch hier wurden mögliche Confounder wie das individuelle Alter und Geschlecht der Verstorbenen und darüber hinaus ein sogenannter „Armut-index“ in Bezug auf den Wohnort berücksichtigt. Desweiteren wurde der Confounder Belastung durch Luftverschmutzung berechnet. Es zeigte sich auch nach Berücksichtigung des Confounders Luftverschmutzung noch eine statistische Signifikanz für einen Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Mortalität durch kardiovaskuläre Erkrankungen (Risikosteigerung um 34% bei Zunahme um 10 dBA).

London: In der bereits oben dargestellten britischen Untersuchung mit Daten der britischen Statistikbehörde von Bezirken rund um den Flughafen London Heathrow wurden neben Krankenhauseinweisungen auch Todesfälle durch die Diagnosen Schlaganfall, Koronare Herzkrankheit (KHK) und allgemeine kardiovaskuläre Erkrankungen analysiert. Bei hohen Fluglärmbelastungen zeigte sich im Vergleich zu niedrigen Belastungen eine signifikant höhere Mortalität an Herz-Kreislauf-Erkrankungen und an Schlaganfall (s. Tab. 3). Die Autoren bewerten diese Daten vorsichtig und geben an, dass sowohl ein kausaler Zusammenhang hierfür in Betracht kommen kann als auch alternative Erklärungsansätze wie z.B. Rest-Confounder wie Luftverschmutzung oder gleichzeitiger Straßenverkehrslärm (Hansell et al., 2013).

Fazit aus den neueren Publikationen

1. Untersuchungen zu „**Vorläufern**“ für **Bluthochdruck (Cortisol als Stresshormon oder arterielle Flußparameter)** sind uneinheitlich. Es ergab sich kein konsistenter Hinweis auf eine Fluglärm-assozierte fehlende Blutdruckabsenkung (Dipping) in der Nacht, wohl aber auf eine fehlende Blutdruckabsenkung bei nächtlicher Straßenverkehrslärmbelastung (Selander et al., 2009; Schmidt et al., 2013, 2014; Haralabidis et al. 2011).
2. Bei der Untersuchung von über 1.000 Personen über 18 Jahren war nur bei Männern, nicht bei Frauen ein Zusammenhang zwischen der **nächtlichen Fluglärmbelastung und dem Bluthochdruck** erkennbar (Evrard et al., 2016). Auch in der HYENA Studie war insbesondere nächtlicher Fluglärm mit einer Blutdrucksteigerung assoziiert (Jarup et al., 2008).

3. Bei zweimal täglicher Blutdruckmessung über 3 Wochen durch die Probanden selbst war kein sign. Zusammenhang zwischen Verkehrslärmbelastung (Schiene, Straße Flug) und Blutdruckparametern erkennbar (Eikmann et al., 2015). Die Selbstmessung gilt inzwischen als Goldstandard, da sie den in früheren Studien mit in der Regel einmaliger Blutdruckmessung durch Untersuchungspersonal verbundenen Weißkittel-Effekt ausschließen kann. Frühere Untersuchungen hatten insgesamt uneinheitliche Ergebnisse erbracht.
4. **Sekundärdatenbasierte Untersuchungen (Krankenkassendaten)** zeigen, dass bei > 40-Jährigen die Neuerkrankungsraten an Herzinfarkt, Herzinsuffizienz und Schlaganfall stärker mit Straßen- und Schienenverkehrslärm als mit Fluglärm assoziiert sind (Seidler et al., 2015 2016 a, b). Bei Senioren (> 65 J) in den USA waren Krankenhausaufnahmen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen in verschiedenen Modellen bei zunehmender Fluglärmbelastung häufiger (teilweise signifikant) (Correia et al., 2013). Auch in einer britischen Studie waren bei Menschen mit hoher im Vergleich mit geringer Fluglärmbelastung die Krankenhausaufnahmen und die Mortalität für Herz-Kreislauf-Erkrankungen signifikant erhöht, wobei Confounder nicht ausreichend ausgeschlossen werden konnten (Hansell et al., 2013). Die Krankenhausaufnahmen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen waren bei Unterbrechung des Flugbetriebs für 6 Tage unverändert (Pearson et al., 2016).
5. **Mortalitätsregisterdaten** aus Frankreich zeigten mit zunehmender Fluglärmbelastung signifikant erhöhte Odds Ratios für Herz-Kreislauf-Erkrankungen insgesamt (OR 1,18), sowie für koronare Herzerkrankung (OR 1,24), Herzinfarkt (OR 1,28) und Schlaganfall (OR 1,08, n.s.) (Evrard et al. 2015). Mortalitätsregisterdaten aus der Schweiz wiesen jedoch nur geringe Assoziationen zwischen Fluglärmbelastung und kardiovaskulären Erkrankungen auf (die erst nach langer Wohndauer unter Belastung signifikant wurden), höhere bei Betrachtung der Entfernung der Wohnung zur nächsten Hauptverkehrsstrasse als Surrogatparameter für eine Straßenverkehrslärmbelastung (Huss et al., 2010).
6. Wenn verschiedene Verkehrslärmquellen betrachtet wurden, war Straßenverkehrslärm eher mit kardiovaskulären Effekten und -Krankheiten assoziiert als Flugverkehrslärm (Haralabidis et al., 2010; Seidler et al., 2015/2016).

3. Lebensqualität, Gesundheit und Krankheit sowie Medikamenteneinnahme

Was war bekannt?

Bereits seit den 1970er Jahren wurde auch der Medikamentenverbrauch in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung untersucht. Dabei wurden sehr verschiedene Methoden angewendet: von Befragung der Ärzte, Erfassung in den Apotheken, Fragebogen-gestützte Bevölkerungsbefragungen bis hin zur Erfassung der Medikamentenverschreibung anhand von Krankenkassendaten (Heudorf, 2008). Dabei lag der Fokus auf Herz-Kreislauf-Medikamenten, Beruhigungsmitteln, Säureblockern und Schlafmitteln. Ältere Untersuchungen konnten bei (angenommenen) hohen Fluglärmbelastungen zumeist einen höheren Verbrauch dieser Medikamente aufzeigen. In der großen Erhebung im Umfeld des Amsterdamer Flughafens betraf dies insbesondere nicht verschriebene Medikamente.

In einer Untersuchung im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens, in die laut Autoren Daten von > 100.000 Personen, die tagsüber Fluglärm-belastet waren und ca. 165.000 Personen mit nächtlicher Fluglärmbelastung eingingen (am Köln-Bonner Flughafen herrscht intensiver Nachtflugverkehr), waren bei allen untersuchten Medikamenten - Herz-Kreislauf-Mittel, Bluthochdruckmittel, Magen-Darm-Mittel, Beruhigungs- und Schlafmittel - bei Männern mit Fluglärmbelastung am Tage kein positiver Zusammenhang erkennbar, teilweise wurden bei zunehmendem Fluglärm weniger Medikamente

verordnet. Bei Männern, die nachts durch Fluglärm belastet waren, war die Situation uneinheitlich. Mehrfach waren bezogen auf die Gesamtnacht höhere Medikamentenverschreibungen bei Fluglärmbelastungen von 40-46 dBA und wieder abnehmende bei 47-62 dBA zu beobachten. Bei Frauen waren sowohl bei Fluglärmbelastung am Tage und in der Nacht mit Ausnahme der Magen-Darmmittel bei allen Medikamenten signifikant positive Effekte erkennbar, mit den höchsten Odds Ratios für die Zeit von 3:00-5:00 Uhr, in der in Köln/Bonn ein hoher Flugverkehr herrscht (Greiser et al., 2006).

Zusammenfassend zeigten die verschiedenen Studien positive und oft signifikante Assoziationen zwischen der Fluglärmbelastung und der Verschreibung von Herz-Kreislauf Medikamenten. Diese Assoziationen waren soweit angegeben bei Frauen stärker als bei Männern und für nächtliche Fluglärmbelastung höher als für die Belastung am Tag. Die Verordnung von Blutdruckmitteln/Herz-Kreislauf Medikamenten waren enger mit Fluglärm assoziiert als andere Medikamentengruppen. Ergebnisse zu Schlaf- und Beruhigungsmitteln waren zwischen den verschiedenen Studien nicht konsistent. Zum Einfluß einer Fluglärmbelastung auf den allgemeinen Gesundheitszustand lagen wenige Studien vor mit nicht konsistenten Ergebnissen (Heudorf, 2008).

Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

Wohlbefinden, allgemeine Gesundheit

Schweiz: In der Schweiz wurden in den Jahren 2011 und 2013 zwei große sekundärdatenbasierte Untersuchungen zu Wirkungen von Fluglärm resp. Verkehrslärm insgesamt auf die Gesundheit der Bevölkerung publiziert.

Brink et al (Brink et al., 2011) untersuchten den Zusammenhang zwischen Faktoren des individuellen Wohlbefindens und der subjektiven Gesundheit zur Exposition mit Flug-, Straßen- und Schienenlärm, indem sie zwei große nationale Schweizer Datensets miteinander verlinkten. Zum einen Daten der nationalen Haushaltserhebung (Swiss Household Panel) (Bevölkerung > 14 Jahre) aus den Jahren 2004-2007, die Daten zur Lebensqualität, Lebensumstände, soziale Position, Schulbildung und Erziehung, Beruf, Einkommen, sowie Einstellung zu Umweltthemen, Gesundheitszustand, Werte, Lifestyle etc. jährlich erfasst. Zum anderen Daten des nationalen Noise Mapping (SonBase) mit adressgenauen Geräuschbelastungsdaten für die Lärmquellen Flugverkehr, Straße und Schiene (L_{DN} , L_{DAY} , L_{Night}) aus dem Jahr 2006. Dabei wurden insgesamt 28.243 Datensätze von 10.373 Personen ausgewertet. Die Lärmexposition (Flug, Schiene, Straße) an sich hatte in dieser Untersuchung laut Autoren nur einen marginalen (nicht signifikanten) Einfluss auf den selbst angegebenen Gesundheitszustand und Parameter des Wohlbefindens. Die Einflüsse der als Confounder betrachteten Faktoren waren deutlich größer.

Auch Boes et al. (Boes et al., 2013) nutzten Sekundärdaten des Swiss Household Panel (SHP) zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen der Änderung in der Fluglärmbelastung und dem allgemeinen Gesundheitszustand einschließlich der Schlafqualität in Nähe des Flughafens Zürich. Sie verlinkten die Datensets mit den Lärmdaten der Schweizer Institution für Materialwissenschaften und Technologie (EMPA). Die Erhebungen erfolgten in Zusammenhang mit unerwarteten Änderungen der Fluglärmbelastung rund um den Flughafen Zürich 2000 und 2003. Die Analyse beinhaltete 1.795 Personen und insgesamt 3.818 Personen-Jahre. 25,3% der Teilnehmer gaben Schlafprobleme, 34,2% Kopfschmerzen, 33,9% Schwäche und 11,7% allgemein schlechte Gesundheit an. Insgesamt berichteten die Teilnehmer, dreimal im Jahr einen Arzt aufzusuchen und an durchschnittlich fünf Tagen pro Jahr von Gesundheitsproblemen beeinträchtigt zu sein. Im allgemeinen Regressionsmodell (gepoolt) zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Gesundheitszustand. Erst im Modell des „fixierten Effektes“ zeigte sich ein signifikanter Anstieg bei Schlafproblemen und Kopfschmerzen (für 1dB mehr Fluglärm z.B. 0,67% mehr Schlafprobleme). Dieses Modell nutzt

fixierte individuelle Geräuschvarianzen und berücksichtigt die räumliche Verteilung der Werte, z.B. dass besonders Lärm-sensible Personen eher in ruhigen Gegenden wohnen (bzw. sich dort selektieren).

Deutschland (RDF): Im Jahr 2010 publizierten Schreckenbeg et al., die Ergebnisse der im Jahr 2006 im Umfeld des Frankfurter Flughafens durchgeführten RDF-Studie (die bereits im ersten Bericht Lärm und Gesundheit, 2008, vorgestellt worden war). Für diese Studie wurden 2.312 Personen im Umfeld des Frankfurter Flughafens u.a. zu ihrem Gesundheitszustand befragt. Dabei wurden etablierte Fragebögen wie der Health related Quality of Life HQoL-Fragebogen genutzt, der den SF-36-Fragebogen zur Vitalität und geistigen Gesundheit und den SF-12-Fragebogen zur geistigen und körperlichen Gesundheit sowie den GSCL 24-Fragebogen zu Gesundheitsbeschwerden (Erschöpfung, Magen-, Knochen- und Gelenk-, sowie Herzbeschwerden) einschließt. Die Schlafqualität wurde mit dem PSQI-Fragebogen, die Belästigung mit der 11stufigen ICBEN-Skala erhoben und es wurde nach einzelnen Erkrankungen gefragt. Als mögliche Confounder wurden berücksichtigt: Alter, Geschlecht, sozio-demographischer Status und Wohnsituation (Miete, Eigentümer). Für jeden Teilnehmer wurde die Lärmbelastung mit dem äquivalenten Dauerschalldruckpegel $L_{Aeq\ 24h}$ am Wohnort berechnet. Unterteilt werden konnte desweiteren in den Zeitbereich Tag 6-22 Uhr und Nacht 22-6 Uhr.

Die Ergebnisse zeigten nicht nur eine stärkere Belästigung durch Lärm bei gleichem Mittelungspegel als z.B. in der EU-Standardkurve von 2001, es zeigte sich auch, dass die erhobenen Gesundheitsparameter wie Vitalität, geistige und körperliche Gesundheit, Erschöpfung, Magen-Darm-, Herz-Kreislauf- und Knochen- und Gelenkbeschwerden enger mit der Belästigung als der Belastung und am stärksten mit der angegebenen Lärmsensitivität assoziiert waren. Dies legt den Schluss nahe, dass die Wirkung durch Fluglärm nicht eine einfache Expositions-Wirkungsbeziehung ist, sondern mehrere Faktoren wie die Möglichkeit der Stressbewältigung, der Belästigung, der Geräuschempfindlichkeit, aber auch mögliche Grunderkrankungen mit einbezieht (Schreckenberget al., 2010).

Deutschland (NORAH): Auch in der NORAH-Studie wurden die Teilnehmer im Umfeld des Frankfurter Flughafens, aber auch der drei anderen untersuchten Flughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin nach ihrer Lebensqualität befragt. Die von den Befragten angegebene psychische und physische Lebensqualität war enger mit der Belästigung als mit der Belastung assoziiert – im Umfeld von allen untersuchten Flughäfen (Schreckenberget al., 2015)

Medikamenteneinnahme

HYENA, Medikamentenverbrauch: Für 4.642 der ursprünglichen 4.861 Teilnehmer dieser multizentrischen Studie in 6 Ländern lagen vollständige Datensätze des persönlichen Interviews zum Medikamentenverbrauch vor. Gefragt wurde nach Medikamenteneinnahme in den vorangegangenen 14 Tagen. Nur bei den Teilnehmern aus England wurde eine erhöhte Einnahme von Blutdruckmitteln bei zunehmenden Fluglärm-Expositionen (Tag sowie Nacht) gefunden, sowie bei Teilnehmern aus Holland bei höherem nächtlichem Fluglärm. Es zeigten sich in der Gesamtgruppe engere Zusammenhänge zwischen der Einnahme von Blutdruckmitteln und der Fluglärmbelastung. Angstlösende Medikamente wurden signifikant häufiger bei zunehmender Fluglärmbelastung (am Tag und in der Nacht) eingenommen. Auch bei diesen Medikamenten waren engere Zusammenhänge zur Fluglärmbelastung zu erkennen. Schlafmittel und Antidepressiva waren nur bei Fluglärmbelastung signifikant erhöht. Zusammenhänge zur Straßenverkehrsbelastung ließen sich bei keinem der untersuchten Medikamente erkennen (Floud et al., 2011).

Tab. 4 Länderbezogener Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von Blutdruckmedikamenten und Fluglärm, angegeben sind OR bezogen auf eine Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dBA (Floud et al., 2011)

Medikamentengruppe	Lärmquelle	Land	OR	n
Blutdruckmedikamente	L _{Aeq 16h} Fluglärm	Großbritannien	1,35*	584
		Deutschland	1,08	969
		Niederlande	1,12*	871
		Schweden	0,89	991
		Griechenland	1,09	615
		Italien	0,82	612
	L _{Aeq Nacht} Fluglärm	Großbritannien	1,34*	584
		Deutschland	1,05	969
		Niederlande	1,19*	871
		Schweden	1,05	990
		Griechenland	1,03	615
		Italien	0,85	612

*signifikant

Tab. 5 Zusammenhang zwischen Medikamentenverbrauch in allen teilnehmenden Ländern und dem Gesamtverkehrslärm. Angegeben sind OR bezogen auf eine Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dBA (Floud et al., 2011)

Medikament	LAeq 16 h Flug	LAeq Nacht Flug	Laeq 24h Straße	Belästigung durch Fluglärm tags	Belästigung durch Fluglärm nachts
Blutdrucksenkende Mittel	s.o.	s.o.	0,98	1,34*	1,34*
Säurehemmende Mittel	1,01	1,10	1,16	1,08	1,16
Angstlösende Mittel und Schlafmittel	1,14	1,10	1,11	1,74*	1,70*
Angstlösende Mittel	1,28*	1,27*	1,06	1,79*	1,74*
Schlafmittel (Hypnotika)	0,96	0,90	1,28	1,47	1,40
Antidepressiva	1,07	0,96	0,97	1,59*	1,00
Mittel gegen Asthma	1,05	1,03	1,01	1,10	1,39

***signifikant**

Krebserkrankungen und psychische Erkrankungen

In einer früheren Untersuchung hatten Greiser und Greiser im Jahr 2010 in Abhängigkeit von nächtlicher Fluglärmbelastung ein erhöhtes Brustkrebsrisiko bei Frauen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn festgestellt. Die Ergebnisse waren ausschließlich als Bericht im Internet publiziert und sind inzwischen dort nicht mehr verfügbar. Im Rahmen einer Anhörung im Hessischen Landtag wurden die damaligen Ergebnisse diskutiert und vom Autor nicht autorisiert. Nach dieser Diskussion wurden inzwischen weitere Untersuchungen zu Flug-, resp. verkehrslärmbedingtem Krebsrisiko durchgeführt. Zugrundeliegende Hypothese ist, dass (lärmbedingter) Stress über eine Schwächung des Immunsystems zu einem höheren Krebsrisiko führen könnte.

Non-Hodgkin-Lymphom, Dänemark: Im Rahmen einer nationalen Fall-Kontrollstudie zu Non Hodgkin-Lymphom Erkrankungen NHL (2.753 Fälle im Alter von 38-84 Jahren, Erkrankungsbeginn zwischen 1992 und 2010, und ca 5.500 nach Alter und Geschlecht „gematchten“ Kontrollen) wurde auch der Zusammenhang zur Verkehrslärmexposition untersucht. Für Straßen-, Schienen- und Fluglärm wurden die Expositionen am Wohnhaus modelliert und berechnet. Eine Straßenverkehrslärm-Exposition > 65 dB war im Vergleich mit einer Exposition < 55 dB mit einem ca. 20% erhöhten Risiko für NHL verbunden, sowohl im rohen Modell als auch unter Berücksichtigung möglicher Confounder wie Alter, Einkommen, Bildung und jeweils der anderen Verkehrslärmquellen. Schienenverkehrslärm-Belastete über 55 dB waren im Vergleich zu mit 0dB Schienenverkehrslärm-Belasteten nicht vermehrt erkrankt. Bei Fluglärmbelastung über 55 dBA zeigte sich im Vergleich mit <55 dBA eine Risikoerhöhung um 35% resp. 43% im adjustierten Modell; bei der geringen Zahl (n=17) von stark Fluglärm-exponierten Patienten mit NHL war diese Risikoerhöhung jedoch nicht signifikant (Sorensen et al., 2015).

Schweiz: Mortalität durch Krebserkrankungen der Atemwege und Flug- / Straßenverkehrslärm.

Im Rahmen der Mortalitätsregister-Studie in der Schweiz wurde neben der Verkehrslärm-assozierten Mortalität an Herz-Kreislauf-Erkrankungen auch die Mortalität durch Krebserkrankungen der Atemwege (Trachea-, Bronchial- und Lungenkrebs) untersucht. Es fanden sich keine Assoziationen zwischen Fluglärmbelastung und Krebserkrankungen der Atemwege, jedoch signifikant höhere Mortalität an Atemwegs-Krebs bei zunehmender Belastung durch Straßenverkehrslärm, der anhand der

Entfernung der Wohnung zur nächsten Hauptverkehrsstrasse als Surrogatparameter abgeschätzt wurde, sowie bei zunehmender Feinstaub-Belastung in der Luft (Huss et al., 2010).

NORAH: Brustkrebs und Depression: In Modul 2, Teilstudie 1 der NORAH-Studie der sekundärdatenbasierten Studie auf Basis von Krankenkassendaten wurden auch Neuerkrankungen an Brustkrebs sowie neu aufgetretene depressive Episoden untersucht und mit den an der Wohnung in vergangenen Jahren (bis 15 Jahre) herrschenden Verkehrslärmexpositionen (Flug, Straße, Schiene) in Bezug gesetzt (Seidler et al., 2015).

Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Brustkrebs bei Frauen und der Flug-, Straßen- oder Schienenverkehrslärmbelastung. Jedoch ergaben sich Zusammenhänge zwischen depressiven Episoden und allen Verkehrslärmarten, wobei Fluglärm stärkere Assoziationen aufwies als Schienen- oder Straßenverkehrslärm. Im linearen Modell nahm pro 10 dB Schallpegelzunahme des Fluglärms das Risiko für eine neu aufgetretene depressive Episode um ca. 9% zu, bei gleicher Zunahme des Straßen- und Schienenverkehrs um ca. 4%. Allerdings weisen die Autoren darauf hin, dass das Risiko in den mittleren Lärmklassen bei Flug- und Schienenverkehrslärmexposition am höchsten war und bei höheren Expositionen wieder abnahm. Das heisst, es lag eine nicht optimal anpassende lineare Risikoerhöhung vor.

Tab. 6 NORAH-Studie Lineare Risikoänderung pro 10 dB-Schallpegelzunahme (Leq 24 Stunden) für Brustkrebs und für depressive Episoden (Seidler et al., 2015)

	Fluglärm	Straßenverkehrslärm	Schienenverkehrslärm
Brustkrebs			
Frauen	+0,3% (n.s.)	-0,9% (n.s.)	-0,9% (n.s.)
Depressive Episode			
Alle	+8,9% (sign.*)	+4,1% (sign.)	+3,9% (sign*.)
Männer	+8,6% (n.s.)	+4,0% (sign.)	+4,0% (sign.)
Frauen	+9,2% (sign.)	+4,0% (sign.)	+ 3,9% (sign.)

*lineare (nicht optimal anpassende) Risikoerhöhung.

Mainz: Depression sowie Angststörungen und Fluglärm-Belästigung: In einer zwischen 2007 und 2012 durchgeführten Querschnitterhebung im Bereich Mainz und Mainz/Bingen (Rhein-Main-Region, d.h. weiteres Umfeld Flughafen Frankfurt) wurden 15.010 Personen im Alter von 35-74 Jahren primär zu kardiovaskulären Erkrankungen befragt und untersucht (Beutel et al., 2016). Darüber hinaus wurden sie auch in einem persönlichen Interview nach Belästigung durch verschiedene Lärmarten (Straße, Schiene, Flug, Nachbarschaft, Industrie) sowie zur ärztlich bestätigten Diagnose einer depressiven Störung und einer Angststörung befragt. 61% der extrem durch Lärm Belästigten gaben Fluglärm als Ursache an, 18% Straßenverkehrslärm, 12% Nachbarschaftslärm. Die anderen Lärmarten wurden seltener als extrem belästigend benannt. Es zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen extremer Lärmbelästigung und Depression sowie „allgemeiner Angst“. Es wurde nicht unterschieden zwischen Belästigung durch Fluglärm und anderen Lärmquellen; auch wurden keine Expositionsdaten erhoben, so dass hier keine Zusammenhänge zu der tatsächlichen Lärmbelastung untersucht werden konnten.

Schweden, Bauchumfang, Body-Mass-Index BMI, Typ 2 Diabetes mellitus

2014 wurde eine von wenigen prospektiv (also vorausschauend) durchgeführten Untersuchungen zum Thema Fluglärm und Typ 2 Diabetes mellitus veröffentlicht (Eriksson et al., 2014). Die Daten stammen aus einer schwedischen Langzeit-Untersuchung über die Risikofaktoren, die zu einem **Typ 2 Diabetes mellitus** führen. Neben der Auswirkung einer Fluglärm-mehrbelastung am Wohnort auf das Auftreten von Diabetes wurde auch der **Body-Mass-Index** und der **Bauchumfang** betrachtet. Beide sind als unabhängige Risikofaktoren für das Auftreten eines Typ 2-Diabetes bekannt. Grundsätzlich stehen alle drei Faktoren natürlich auch im Zusammenhang mit Erkrankungen des kardiovaskulären Formenkreises, weswegen sie im Gesamtkontext ggf. auch als Entstehungsmechanismen kardiovaskulärer Erkrankungen betrachtet werden könnten. Es zeigt sich in dieser Untersuchung für die Neuerkrankungen an Diabetes und den Body-Mass-Index kein Zusammenhang zur Fluglärm-belastung. Es zeigte sich eine statistisch signifikante Zunahme des Bauchumfangs von 1,51 cm pro 5 dB. Die Studie ist ein gutes Beispiel für ein prospektives Studienmodell über Risikofaktoren.

Fazit aus den neueren Publikationen

1. **Allgemeine Gesundheit** und Lebensqualität: in sekundärdatenbasierten Untersuchungen in der Schweiz konnten nur marginale Einflüsse von Fluglärm auf die selbst angegebene Gesundheit/Lebensqualität (Brink et al., 2011), resp. im allgemeinen Regressionsmodell zunächst keine, erst nach Berücksichtigung der räumlichen Verteilung (fixierter Effekt) ein signifikanter Anstieg der angegebenen Schlafprobleme und Kopfschmerzen gefunden werden (Boes et al., 2013). Bei verschiedenen Fluglärm-Studien in Deutschland (RDF, NORAH) wurden engere Assoziationen zwischen der angegebenen psychischen und physischen Gesundheit und der Belästigung als mit der Belastung angegeben (Schreckenberget al., 2010; Schreckenberget al., 2015/16).
2. Wie bei früheren Untersuchungen auch, zeigte sich kein einheitliches Bild bei der Frage des Zusammenhangs zwischen Fluglärm-belastung und **Medikamentenverbrauch**. Entgegen der eigentlichen Erwartung wurde kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Fluglärm-belastung und der Einnahme von Medikamenten gegen Bluthochdruck gefunden (Floud et al., 2011) - in Übereinstimmung mit Greiser et al., 2006, die einen solchen Zusammenhang nur bei Frauen, nicht aber bei Männern gesehen hatten.

Der signifikante Zusammenhang zwischen der Fluglärmexposition und dem Verbrauch angst-lösender Medikamente (Floud et al., 2011) könnte auch im Zusammenhang mit der im Rahmen der NORAH-Studie festgestellten signifikanten Erhöhung des Risikos für depressive Episoden bei Exposition gegenüber Verkehrslärm – Straße, Schiene, insbesondere aber Flugverkehr - gesehen und weiter untersucht werden (Seidler et al., 2015).

Die Einnahme verschiedener Medikamente (z.B. Blutdrucksenker, Angstlöser, Antidepressiva) war zum Teil enger mit den Angaben zur Belästigung durch Flugverkehr assoziiert als mit der Fluglärm-belastung (Floud et al., 2011).

Unerwartet war, dass zwischen der Exposition gegenüber Straßenverkehrslärm und der Ein-nahme verschiedener Medikamente keine Zusammenhänge gefunden werden konnten (Floud et al., 2011).

3. **Krebserkrankungen:** Es fanden sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Ver-kehrslärbelastungen (Flug, Straße, Schiene) und Brustkrebs bei Frauen (Seidler et al., 2015). Bei Non-Hodgkin-Lymphom waren ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge zum Flug- und Schienenverkehrslärm erkennbar, jedoch hatten Menschen mit hoher Exposition durch Straßenverkehrslärm signifikant häufiger Non-Hodgkin-Lymphome und auch Krebserkrankungen der Atemwege als solche, die geringem Straßenverkehrslärm exponiert

waren. Den signifikant höheren Risiken für die Sterblichkeit an Krebserkrankungen der Atemwege bei höheren Expositionen gegenüber Straßenverkehrslärm müsste (ggf. in Kombination mit den durch Straßenverkehr verursachten Schadstoffen) weiter nachgegangen werden, da in der Sterberegisteruntersuchung wichtige Confounder wie Rauchen etc. nicht berücksichtigt werden konnten (Sorensen et al., 2010).

4. **Depression und Angststörungen:** Neu ist der signifikante, wenn auch nicht lineare Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und depressiven Störungen (bei höheren Verkehrslärmbelastungen wieder abnehmendes Risiko), wobei das Risiko durch Fluglärm bei vergleichbarer Lärmbelastung etwa doppelt so hoch war wie bei Straßen- und Schienenverkehrslärm (Seidler et al., 2015). Dieser Beobachtung muss weiter nachgegangen werden. Hinweise, dass evtl. Belästigungsreaktionen diesen Effekt (mit)beeinflussen könnten, hat eine weitere Studie erbracht. Diese fand Zusammenhänge zwischen Lärmbelastung und der ärztlichen Diagnose Depression und Angststörung. Leider wurde hier keine Auswertung zur Fluglärmelastung alleine vorgelegt und auch keine Expositionsmessungen vorgenommen (Beutel et al., 2016). Dies könnte als Anregung dienen, dass die in der NORAH-Studie erhaltenen Daten zu depressiven Episoden vor dem Hintergrund der Daten zur Verkehrslärmbelastung ausgewertet werden – mit und ohne Adjustierung für die Belastung durch Flug- und Straßenverkehr.

4. Fluglärm und Schlaf bzw. Erholung

Was war bekannt?

Schlaf kann durch Umwelteinflüsse gestört werden, z.B. durch Lärm, der zur Unterbrechung oder Verkürzung der Schlafperioden und zu schlechter Schlafqualität führt. Dieses kann eine Beeinflussung der Lebensqualität und verminderte Leistungsfähigkeit am Tag zur Folge haben. Bereits in der letzten Literaturübersicht wurde dem Schlaf ein umfangreiches Kapitel gewidmet. Dort wurde bereits ausführlich auf die sehr unterschiedlichen Methoden zur Erfassung und Bewertung von Lärm-bedingten Schlafstörungen und deren Grenzen eingegangen:

Methoden zur Untersuchung von Schlafstörungen durch Lärm

Zur Erfassung und Bewertung von durch Lärm gestörtem Nachtschlaf können sehr verschiedene Methoden eingesetzt werden, jede hat ihre spezifischen Möglichkeiten und Grenzen:

1. Fragebogen-Umfragen zu Schlafstörungen, Schlafqualität, Aufwachreaktionen
2. Umfragen zur Einnahme von ärztlich verordneten und/oder frei verkäuflichen Medikamenten
3. Erhebung des Verkaufs von Schlafmitteln bzw. des Verordnens von Schlafmitteln
4. Schlaftagebuch – mit oder ohne Zusammenhang zu experimentellen Schlafstudien
5. (Kognitive) Leistungstests - mit oder ohne Zusammenhang zu experimentellen Schlafstudien
6. Stresshormone im Morgenurin - als Indikator für Stress (durch Lärm) in der Nacht
7. Aufwachreaktionen
 - a. Befragung (Schlaftagebuch)
 - b. Behavioural Drücken eines Knopfes
 - c. Aktometrie (Erfassung der Körperbewegungen mittels eines Aktometers, Gerät, das wie eine Uhr an der Hand getragen wird und Bewegungsimpulse aufzeichnet)
 - d. Teil der Polysomnographie (s.u.)
8. Lageänderungen/ Positionsänderung im Schlaf (Aktometrie)
9. Untersuchung der Schlafstadien Polysomnographie mit EEG (Hirnstromkurve), EMG (Augenmuskelbewegungen), EKG (Herzstromkurve), Aktometrie (Körperbewegungen und Lageänderungen)

Die Methoden 1 bis 3 können leicht in größeren Bevölkerungen angewandt werden. Sie erfassen aber nur die den Betroffenen bewusst gewordenen Ereignisse und Situationen bzw. Schlafstörungen, die so manifest und störend wirken, dass die Betroffenen Medikamente einnehmen (seien sie ärztlich verordnet oder selbst gekauft).

Die Methoden 4 bis 7c eignen sich für kleinere (Bevölkerungs)Studien.

Während die Methoden 4 und 7 a, b nur Reaktionen erfassen, die den Betroffenen bewusst wurden, d.h. oberhalb der Aufwachschwelle, können mit den Methoden 5, 6, 7c, d und 8 auch Reaktionen auf Störungen durch Lärm bereits im Vorfeld des Bewusstwerdens untersucht werden. Die differenzierteste Methode ist zweifellos die Polysomnographie mit der gleichzeitigen Erfassung der Hirn-, Herz-, Augenmuskel- und der allgemeinen Bewegungsaktivität. Diese bleibt allerdings wegen ihres Aufwands nur sehr kleinen, speziellen Untersuchungen vorbehalten.

Die Methoden sind im Hinblick auf ihre Aussagekraft sehr unterschiedlich, wobei zusätzlich die Erfassung der Lärmbelastung - in neueren Studien auch der Lärmbelästigung - von größter Bedeutung ist.

Fluglärm und Gesundheit – Literaturübersicht , 2008

Zusammenfassend wurde im letzten Bericht unter anderem eine Übersichtsarbeit von Michaud et al. 2007 zu den Wirkungen von Fluglärm auf den Schlaf zitiert:

Zusammenfassung: Fluglärm und Schlafstörungen

Die Ergebnisse detaillierter Feldstudien werden von Michaud et al. (2007) wie folgt zusammenfassend bewertet: „Fluglärmbedingte Schlafstörungen zählen zu den bedeutsamen (ernsthafteren) Wirkungen des Fluglärms auf die Bevölkerung. Die Literaturübersicht der neueren Feldstudien zeigt, dass eine zuverlässige Verallgemeinerung der Ergebnisse auf Bevölkerungsebene kompliziert ist wegen der individuellen Unterschiede bei den Versuchspersonen, den methodischen und analytischen Unterschieden zwischen den Studien. Nur ein geringer Anteil der Varianz in den Reaktionen ist durch Fluglärm bedingt. Dennoch ist es unter den Studienbedingungen (Exposition zu Hause) offenkundig, dass Schlafstörungen durch nächtliche Fluglärmbelastungen nicht dramatisch sind und dass die Zusammenhänge zwischen Außenlärmbelastung und Schlafstörungen gering sind. Es ist auch offensichtlich, dass Aufwachreaktionen zum Morgen hin häufiger sind, dass der Lärm im Schlafzimmer enger mit Aufwachreaktionen assoziiert ist als der Außenlärm, und dass spontane Aufwachreaktionen bzw. nicht dem Fluglärm zuzuschreibende Aufwachreaktionen sehr viel häufiger sind als Fluglärm-bedingte Aufwachreaktionen. Vorhersagen von fluglärmbedingten Aufwachreaktionen sollten nicht auf einer Übervereinfachung (oversimplification) von Studienergebnissen basieren und mit großer Vorsicht in regulativen Maßnahmen verwendet werden“ (Michaud et al. 2007).

Fluglärm und Gesundheit Literaturübersicht, 2008

Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

Seit 2008 wurden mehrere Studien zur Wirkung von Verkehrslärm auf die Schlafqualität veröffentlicht. Sogenannte Laborstudien, also Untersuchungen, in denen die Teilnehmer in einem eigens eingerichteten Schlaflabor schlafen und untersucht wurden, werden hier nicht dargestellt. In diesem Bericht wird auf epidemiologische Untersuchungen fokussiert durchgeführt „im Feld“, also in der Wohnumgebung der Teilnehmer.

Im Jahr 2010 wurden eine Reihe Reviews (also Übersichtsartikel) zum Thema Fluglärm und Schlafqualität veröffentlicht. In diesen werden auch Unterschiede in den Analysemethoden (Geräuschpegel Messungen, statistische Methoden der Meta-Analyse) in den verschiedenen Untersuchungen diskutiert, z.B. zwischen europäischen Studien und US-amerikanischen. Eine Übersicht dieser und anderer Reviews findet sich im Anhang.

Einen guten Überblick gibt auch der 2009 erschienene WHO-Bericht „WHO Night Noise Guidelines for Europe“ (Bonney et al., 2009). Angesichts des großen technischen Aufwands der bisherigen Messverfahren wurde die Etablierung eines geeigneten Parameters gefordert, der die Schlafqualität ausreichend valide untersucht und geeignet ist, auch eine große Anzahl von Personen untersuchen zu können. Diese Anregung wurde in der NORAH-Studie aufgegriffen.

Befragungen zur Schlafqualität

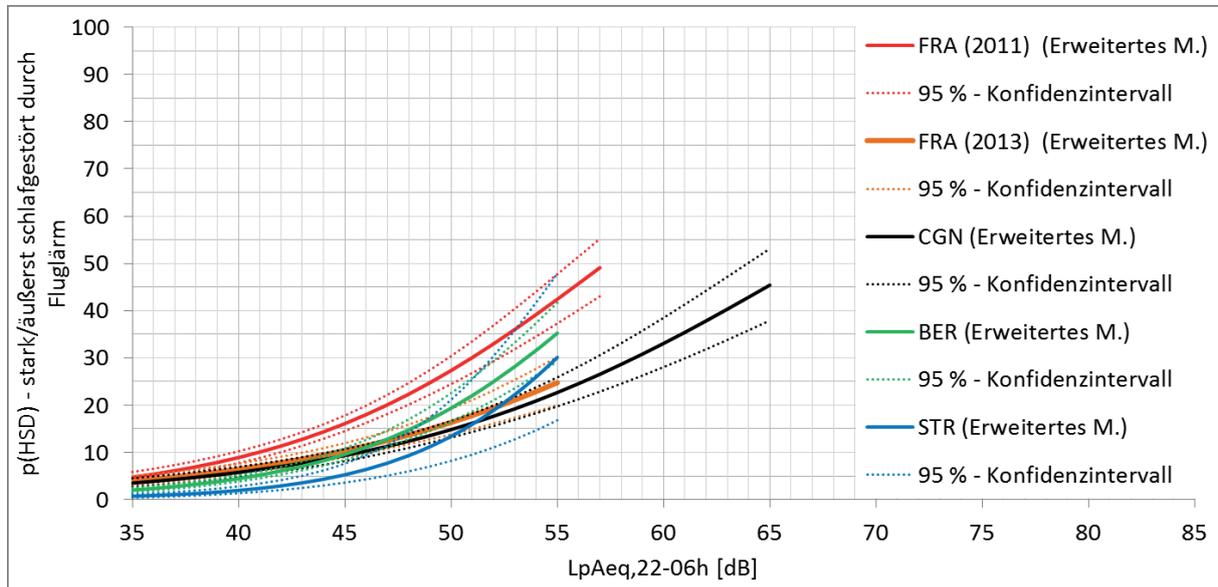
USA: Daten aus den Jahren 2008 und 2009 der landesweiten Befragung „**Behavioural Risk Factor Surveillance System BRFSS**“, einem **Gesundheitssurvey** der landesweit in 50 US Staaten 2008 und 2009 durchgeführt wurde. Fragen nach der Schlafqualität wurden auf der Basis von Postleitzahlen (zip codes) mit den Lärmdaten von der US- Federal Aviation Administration **FAA** (integriertes Lärmmodell; DNL) aus dem Umfeld von 95 US-Flughäfen verschnitten. Die Teilnehmer hatten auf die Frage geantwortet, wie oft sie in den letzten 30 Tagen nicht genug **Schlaf und Erholung** hatten. Die Autoren fanden keine signifikanten Assoziationen zwischen Fluglärmbelastung und angegebener unzureichender Schlafqualität – nach Berücksichtigung von Alter, Geschlecht, Ethnie, Bildung, Einkommen, Übergewicht und Rauchen. Sie sehen ihre Ergebnisse in Übereinstimmung mit anderen Studien, die ebenfalls keine oder allenfalls geringe Assoziationen fanden. Trotz der Stärke der Studie mit vielen Teilnehmern im Umfeld unterschiedlicher Flughäfen im ganzen Land mit unterschiedlichen Klimaregionen, betonen auch die Autoren, dass die Expositionsdaten methodisch limitiert waren. So standen nur Expositionen nach Postleitzahlbereich und nicht personengenau zur Verfügung. In dem Bereich < 55 dBA (also kein Fluglärm nach Definition dieser Studie) können sehr wohl Teilnehmer mit anderer Lärmbelastung, z.B. Straßenverkehrslärm gewesen sein (Bias) und der DNL bildet nicht die Nacht, sondern den ganzen Tag ab, was für die Untersuchung von Schlafqualität nicht unbedingt das angemessene Lärmmaß darstellt (Holt et al., 2015).

Korea: Im Jahr 2015 wurden insgesamt 3308 Bewohner im Umfeld des Flughafens von Seoul, Korea, einschließlich Kontrollpersonen auf den Einfluß des Fluglärms auf Schlaflosigkeit und Tagesschläfrigkeit befragt; **Insomnia Severity Index (ISI)** und **Epworth Sleepiness Scale (ESS)**. Die Daten der Fluglärmbelastung lieferte die Nationale Flugbehörde anhand eines Lärmkonturmodells. Bei höheren Fluglärmbelastungen wurden signifikant höhere Mittelwerte der entsprechenden Schläfrigkeits- und Tagesmüdigkeitsindices erhalten, ebenso war der prozentuale Anteil der Menschen mit Schlafstörung und Tagesmüdigkeit sign. höher. Auch nach Berücksichtigung vieler Confounder wie Alter, Geschlecht, Bildung, Wohndauer, Lebensstilfaktoren wie Rauchen etc. hatten die Fluglärmbelasteten ca. 3fach höhere Raten für Schlafstörung und Tagesmüdigkeit (sign.) (Kwak et al., 2016).

Canada: 2014 befragten Perron et al. (Perron et al., 2016) 4336 Personen > 18 Jahre im Großraum Montreal, ob und wenn ja wodurch ihr Schlaf in den letzten 4 Wochen gestört worden war. Analysiert wurden hier neben Fluglärm auch Straßen- und Bahn-assoziiertes Lärm. Dabei zeigten sich die Schlafstörungen sowohl mit der Nähe zu Verkehrslärmquellen (Flug, Straße, Schiene) als auch mit der abgeschätzten Verkehrslärmbelastung assoziiert.

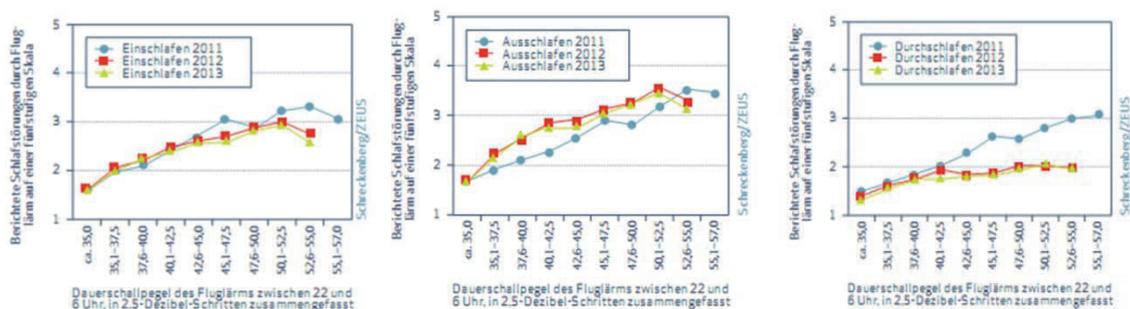
NORAH: Im Rahmen der großangelegten NORAH-Studie wurde die Schlafqualität im Rahmen einer Befragung von Menschen im Umfeld der Flughäfen Frankfurt, Berlin, Stuttgart, Köln/Bonn untersucht (**Modul 1 „Belästigung und Lebensqualität“**). Der Fluglärm wurde hausgenau für jeden Teilnehmer berechnet. Sowohl im Umfeld des Frankfurter Flughafens als auch der anderen Flughäfen Stuttgart, Berlin und Köln/Bonn war die mittels Fragebogen erhobene psychische und physische Lebensqualität enger mit der angegebenen Belästigung durch Fluglärm, kaum mit der Belastung (und hier vermittelt über die Belästigung) assoziiert.

Abb. 11 Anteil hoch durch Luftverkehrsgeräusche schlafgestörter Personen im Raum Frankfurt/ Rhein-Main und Vergleichsstädten (Berlin, Köln/Bonn, Stuttgart) 2011, 2013 (Guski R 2015)



Für Frankfurt wurde darüber hinaus in den Jahren 2011, 2012 und 2013 eine Längsschnittuntersuchung zur Schlafqualität durchgeführt; diese sollte Änderungen in der Schlafqualität erfassen, die durch die Eröffnung der neuen Landebahn und die Einführung einer nächtlichen „Kernruhezeit“ mit weitgehendem Flugverbot von 23-5 Uhr seit Ende 2011 hervorgerufen werden. Es wurden mehr als 3.500 Personen befragt (9.232 im Jahr 2011; 4.867 im Jahr 2012 und noch 3.508 im Jahr 2013): Bei zunehmender Belastung durch Fluglärm wurden signifikant mehr Ein-, Durch- und Ausschlafstörungen berichtet. Durch Einführung des Nachtflugverbots wurde das Durchschlafen signifikant verbessert, in Bezug auf das Ein- und Ausschlafen ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede (Schreckenberg et al., 2015).

Abb. 12 NORAH Modul 1: Auswirkungen des nächtlichen Fluglärms (22-6 Uhr) auf die selbst berichtete Schlafqualität – Einschlafen, Durchschlafen und Ausschlafen (Schreckenberg et al., 2015).



Fazit aus den Befragungen: Es zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse in verschiedenen Untersuchungen, die evtl. durch unterschiedliche Methoden insbesondere bei der Klassifizierung der Exposition bedingt sein können. In der US-amerikanischen Untersuchung im Umfeld von 95 Flughäfen wurden keine Assoziationen zwischen der Höhe der Fluglärmexposition und den berichteten Störungen des Schlafs gefunden – möglicherweise durch nicht ausreichend exakte Expositionsabschätzung (nur Postleitzahlen-genau, möglicher Bias in der Kontrollgruppe, 24h Fluglärm als Expositionsparameter statt Nachtfluglärm alleine) (Holt et al., 2015). Demgegenüber wurden im Umfeld eines koreanischen Flughafens signifikante Assoziationen zwischen Fluglärm, der allerdings ebenfalls nur in grober Klasseneinteilung vorlag, und der von den Befragten angegebenen Schlafstörung (Schlaflosigkeit) und Tagesmüdigkeit gefunden (Kwak et al., 2016). Auch im Umfeld des Flughafens Montreal waren die angegebenen Schlafstörungen in den letzten 4 Wochen mit der Nähe zu Verkehrslärmquellen (Flug, Schiene, Straße) und der Höhe der abgeschätzten Lärmbelastung assoziiert (Perron et al., 2016).

In der NORAH-Studie (Modul 1, „Belästigung und Lebensqualität“), bei welcher für alle Teilnehmer der Fluglärm individuell am Haus berechnet worden war, zeigten sich ebenfalls signifikante Assoziationen zwischen den angegebenen Schlafstörungen und zunehmender Fluglärmbelastung. Nach Einführung des Nachtflugverbots bzw. der sog. Kernruhezeit nahmen die Durchschlafstörungen ab. Gegen eine Verbesserung der Problematik (Schlafstörung) spricht allerdings eine vertiefende Analyse, in der die berichteten Schlafstörungen nach Ein-, Durch- und Ausschlafstörungen unterteilt wurden. Hier zeigt sich ein Rückgang der Schlafstörungen insbesondere auf Störungen des Nachtschlafs (in der die Lärmreduktionen stattfanden). Die Störungen der Einschlafphase blieben unverändert. Störungen beim Ausschlafen nahmen eher zu (wahrscheinlich bedingt durch intensiven Flugverkehr in den Nachtrandstunden, 22-23 Uhr und 5-6 Uhr) (Schreckenberget al., 2015/2016).

Messtechnische Untersuchungen des Schlafs in Felduntersuchungen

Holland: Im Umfeld des Amsterdamer Flughafens wurde in den Jahren 1999-2001 eine große Feldstudie zu Fluglärmexposition und Schlafqualität vorgenommen (Janssen et al., 2014). 418 Erwachsene (18-81 Jahre) wurden in ihrem eigenen Wohnbereich untersucht. Dazu wurden zwischen 22 und 9 Uhr im Schlafzimmer der Probanden und im unmittelbaren Außenbereich Schallpegelmessungen vorgenommen. Die Schlafqualität wurde anhand der Bewegung im Schlaf (Bewegungsmonitor am Handgelenk) und durch Befragung mit einer 11-Punkte-Skala erhoben. Der äquivalente Schalldruckpegel war unabhängig korreliert mit der Anzahl der Bewegungen im Schlaf. Zusätzliche Parameter wie die Anzahl der nächtlichen Überflüge insgesamt verbesserten die Vorhersagbarkeit der Schlafqualität nicht. Allerdings zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der Schlafqualität und der Anzahl der Überflüge >60 dB. Die selbst-angegebene Schlafqualität (Skala 11 Punkte) zeigte keinen unabhängigen Zusammenhang zwischen dem Mittelungspegel und der Anzahl der Überflüge (egal welcher Lautstärke).

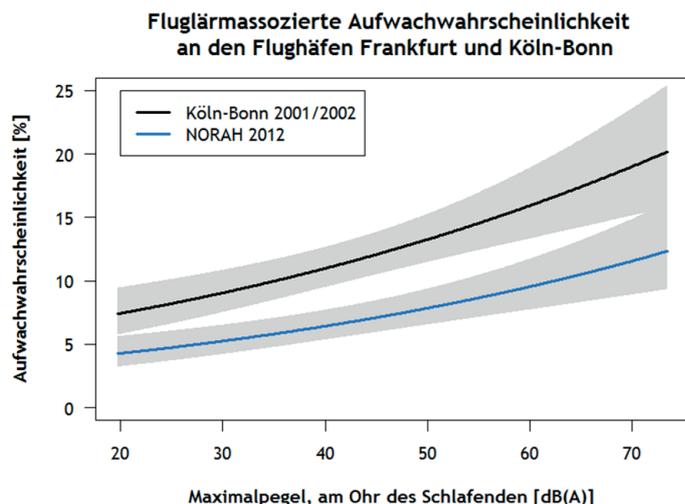
Im NORAH Modul 2, Schlaf wurde untersucht:

- Sind die Messungen zu Fluglärm-bedingten Einflüssen auf die Schlafqualität der Anwohner des Flughafens Köln-Bonn generalisierbar? Werden vergleichbare oder übereinstimmende Effekte auch bei Anwohnern des Frankfurter Flughafens gefunden?
- Welche Effekte haben die Einführung der Kernruhezeit und die Eröffnung der neuen Landebahn am Flughafen Frankfurt auf die Schlafqualität der Anwohner?
- Kann eine neue Untersuchungsmethode entwickelt werden, die einfach und zuverlässig die Schlafqualität anzeigt und so größere Untersuchungen im Bevölkerungsbezug ermöglicht?

Dazu wurde eine Untergruppe Schlaf-gesunder erwachsener Probanden aus dem Gesamtpanel im Umfeld des Frankfurter Flughafens zu Hause untersucht (Müller et al., 2015). Parallel wurden in den Schlafzimmern der Probanden und unmittelbar vor dem Haus Lärmpegelmessungen durchgeführt. Im Jahr 2011 und 2012 wurde bei 49 resp. 83 Personen eine umfängliche polysomnographische Untersuchung (EEG, EKG, Aktometer etc.) durchgeführt. Aufgrund der Erkenntnisse wurde das vereinfachte Verfahren der „vegetativ-motorischen Reaktion (nur EKG und Aktometrie) entwickelt, das im Jahr 2013 bei 187 Probanden angewandt wurde. Bei allen Durchgängen wurden zusätzlich morgendliche Befragungen zur Schlafqualität und Müdigkeit vorgenommen. Die Ergebnisse wurden nach sog. Bettzeitgruppen getrennt ausgewertet: Bettzeitgruppe 1 ging zwischen 22 und 22:30 Uhr zu Bett und stand zwischen 6 und 6:30 Uhr auf; Bettzeitgruppe 2 ging zwischen 23 und 23:30 Uhr zu Bett und stand zwischen 7 und 7:30 Uhr auf.

Zwischen 2011 und 2012 nahm die Zahl der nächtlichen Überflüge signifikant ab. Im Jahr 2011 hatte die fluglärm-bedingte Aufwachhäufigkeit im Mittel bei 2,0 gelegen. Nach Einführung der Kernruhezeit hatte die mittlere Aufwachhäufigkeit in der Bettzeitgruppe 1 auf 0,8 abgenommen, in der Bettzeitgruppe 2 war die Aufwachhäufigkeit jedoch nahezu gleich geblieben – bedingt durch häufigeres Aufwachen in der Phase vor dem Aufstehen, als bereits wieder Flugbetrieb herrschte. Alle anderen gemessenen Parameter der Schlafqualität – Gesamtschlafdauer, Schlafeffizienz, Einschlaf latenz, Wachdauer in der Nacht nach dem Einschlafen, Differenz zwischen geplantem und tatsächlichem Schlafende unterschieden sich weder im Trend noch zwischen den Bettzeitgruppen. Die selbst berichtete Schläfrigkeit und Müdigkeit am Morgen nahm jedoch von 2011 bis 2013 zu. Dies zeigt, dass hier noch andere Faktoren bedeutsam sind, die in der Mess-Situation nicht erfasst wurden. Bei der in den Jahren 2001/2002 im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens durchgeführten Untersuchung waren sehr viel häufiger nächtliche Überflüge zu verzeichnen; die dort untersuchten Menschen wachten auch häufiger in der Nacht auf (im Mittel 2,5 mal).

Abb. 13 Fluglärm-assozierte Aufwachwahrscheinlichkeit an den Flughäfen Frankfurt und Köln/Bonn (Müller et al., 2015)



Die untenstehende Tabelle zeigt bei Teilnehmern im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn im Vergleich zu den Teilnehmern der NORAH-Studie eine deutlich kürzere Gesamt- und Tiefschlafdauer, eine längere Zeit bis zum Einschlafen (Einschlaflatenz) sowie eine längere nächtliche Wachdauer. Der Anteil des Tiefschlafs war bei den Probanden aus Köln-Bonn geringer und die Schlafeffizienz etwas schlechter als bei den Teilnehmern im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Die Fluglärm-assozierte Aufwachwahrscheinlichkeit bezogen auf den Maximalpegel am Ohr des Schlafenden war bei den untersuchten Probanden aus dem Umfeld des Köln-Bonner Flughafens etwas höher als bei den Teilnehmern aus dem Rhein-Main-Gebiet. Die im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens gewonnenen Erkenntnisse können also nicht ohne weiteres auf Anwohner anderer Flughäfen übertragen werden.

Tab. 7 Objektiv gemessene Schlafqualität bei Anwohnern des Frankfurter Flughafens (2011 und 2012) und des Köln/Bonner Flughafens (2001) (Müller et al., 2015)

	NORAH 2011	NORAH 2012	NORAH 2012	Köln-Bonn 2001/2001
Probanden nach Bettzeit (BZ)	48 BZ1	38 BZ1	41 BZ 2	BZ 0-6
Gesamtschlafdauer Minuten	425,5	427,8	426,9	410,2
Einschlaflatenz Minuten	13,9	14,5	13,1	18,3
Schlafeffizienz (Gesamtschlafdauer/Zeit im Bett) %	90	90	91	87
Tiefschlafdauer Minuten	-	106,2	103,5	57,8
Tiefschlafdauer /Gesamtschlafdauer (%)	-	25	24	14
REM-Schlafdauer Minuten	-	100,1	96,0	96
Wachdauer nach dem Einschlafen Minuten	36,7	34,4	33,8	42

NORAH, Modul 2, Vegetativ-motorische Reaktion: Bei den Probanden der NORAH-Studie 2012 wurden die Daten der Polysomnographie mit denen des im Rahmen der Studie neu entwickelten Verfahrens der Messung der vegetativ-motorischen Reaktion (VMR) überprüft. Statt der vielen Geräte, die für die Polysomnographie notwendig sind und die stets von erfahrenen Fachleuten am Abend angelegt und am Morgen wieder abgenommen werden müssen, werden bei der VMR nur zwei Elektroden

benötigt, die vom Probanden selbst auf dem Brustkorb vor dem Zu-Bett-Gehen angebracht werden können. Die Untersuchungen zeigten eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Polysomnographie-Daten und den mit der VMR-Methode erhobenen Daten, d.h. die Methode kann auch für die Untersuchung größerer Teilnehmerzahlen erfolgreich eingesetzt werden. In der dritten Messphase 2013 wurde bei den Teilnehmern nur noch die neuartige Messmethode, die sog. vegetativ-motorische Methode (VMR) verwendet. Die Empfindlichkeit der VMR-Methode ist höher als die Feststellung der Aufwachreaktionen in der Polysomnographie. Die Autoren stuften die VMR-Methode als geeignet ein, vegetativ-motorische Körperreaktionen im Schlaf aufgrund von Fluglärmexposition zu beschreiben. Dadurch, dass die Methode Herzfrequenzbeschleunigungen misst, bildet sie möglicherweise einen Mechanismus ab, der für Herz-Kreislauf-Erkrankungen ursächlich verantwortlich sein könnte, die nach langjähriger nächtlicher Lärmexposition entstehen können“ (Müller et al., 2015).

Es zeigte sich im Vergleich der drei Meßzeiträume, dass die VMR bei gleichem Maximalpegel mit höherer Wahrscheinlichkeit auftraten als die im EEG/Polysomnographie gemessenen Aufwachreaktionen. Das heisst, die VMR scheinen ein zielführender Parameter zur Abschätzung der Schlafqualität zu sein.

NORAH Modul 2, Schlafqualität: Außerdem sollte in dieser Studie die Wirkung von Veränderungen im Flugbetrieb untersucht werden. So wurde sowohl die Schlafqualität per Polysomnographie/VMR als auch die tatsächliche Lärmbelastung am Ohr des Teilnehmers vor und nach Änderungen des Flugbetriebs untersucht. Gleichzeitig wurden auch jeweils in einem Interview Fragen zur individuell empfundenen Belästigung durch Fluglärm, Schläfrigkeit am Tag etc. erfragt. Hier zeigten sich in den Jahren 2011 und 2012 vergleichbare Aufwachreaktionen. Wird die Gesamtschlafzeit betrachtet, zeigte sich 2012 wegen der Verringerung der Flugzahlen eine geringere Anzahl von Aufwachreaktionen. Dieses schlägt sich jedoch nicht nieder in der Bewertung der Teilnehmer über Müdigkeit und Schläfrigkeit am Tag. Diese Parameter (genau wie die individuell empfundene Belästigung) stiegen kontinuierlich. Zu Erklärungsansätzen diesbezüglich siehe auch Abschnitt über Belästigung und Fluglärm.

NORAH Modul 2, Vergleichbarkeit Daten Köln/Bonn: Schliesslich verfolgte das Studiendesign der NORAH Schlaf-Studie noch das Ziel, bestehende Expositionswirkungs-Beziehungen in diesem Falle von einer Untersuchung 2001/2002 aus dem Umfeld des Flughafens Köln/Bonn auf seine Übertragbarkeit auf andere Flughäfen zu überprüfen. Es zeigte sich hier, dass die Wahrscheinlichkeit bei einem Überflugeräusch im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens wach zu werden, deutlich über der in der hier vorliegenden Studie lag. Das bedeutet, Ergebnisse der Studie von 2001/2002 können nicht sicher auf die Verhältnisse am Frankfurter Flughafen übertragen werden. Verschiedene Erklärungsansätze werden diskutiert wie zum Beispiel veränderte nächtliche Flugaufkommen, unterschiedliche Probandenkollektive etc..

Zusammenfassung Fluglärm und Schlaf:

1. Die meisten Studien zeigen Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung und den angegebenen Schlafstörungen (Perron et al., 2016; Schreckenberger et al., 2015/16; Kwak et al., 2016), einige nicht (Holt et al., 2015; Janssen et al., 2014).
2. Nachtflugverbote resp. die Einführung einer Kernruhezeit verbessern die angegebenen Durchschlafstörungen, nicht jedoch die Ein- und Ausschlafstörungen – wahrscheinlich bedingt durch den intensiven „Tages-Randverkehr“ (Scheckenberger et al., 2015).
3. Die angegebene Schlafqualität und die messtechnisch erhobene Schlafqualität müssen nicht übereinstimmen. Im Umfeld des Flughafens Frankfurt verschlechterte sich zwischen 2011 und 2013 (neue Landebahn etc.) die angegebene Schlafqualität, während die messtechnisch

erhobenen Parameter Gesamt-, Tiefschlafdauer, Einschlaf latenz, Wachdauer nach dem Einschlafen keine Änderung aufwiesen (Müller et al., 2015).

4. Die Messung fluglärmbedingter Einflüsse auf die Schlafqualität an einem Flughafen ist nicht auf andere Flughäfen übertragbar, kann also nicht generalisiert werden (Müller et al., 2015).
5. Die VMR (vegetativ-motorische Reaktion) hat sich als ein probates und empfindliches Maß für die Untersuchung Lärm-induzierter Störungen erwiesen und wird bereits in weiteren Untersuchungen außerhalb Deutschlands eingesetzt.

II. Fluglärm und Gesundheit - Studien mit Kindern

Erneut wurde eine Literaturrecherche (Medline) durchgeführt. Alle neu erschienenen epidemiologischen Untersuchungen (Originalarbeiten) im Umfeld von Verkehrsflughäfen (Zivilflughäfen) wurden in diesen Bericht aufgenommen. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der NORAH-Untersuchung ausführlich dargestellt – sowohl die bereits in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichten Ergebnisse als auch die Daten aus den ausführlichen Forschungsberichten, die im Internet verfügbar sind (<http://www.laermstudie.de/de/wissen/veroeffentlichungen/>). Wie in der ersten Literaturübersicht zu Fluglärmwirkungen auf die Gesundheit werden die Ergebnisse zusammenfassend und im Überblick dargestellt. Dabei werden in Teil II „Kinder“ folgende Themen und Studien besprochen.

Belästigung

Van Kempen et al., 2009 und 2010 RANCH
 Seabi et al., 2013 Südafrika
 Clark et al., 2013 RANCH London; longitudinal 6 Jahre
 Klante et al., 2015 NORAH

Allgemeine und Psychische Gesundheit

Stansfeld et al., 2009 RANCH psychische Gesundheit
 Van Kempen et al., 2010 RANCH
 Crombie et al., 2011 RANCH mentale Gesundheit und early biological risk
 Clark et al., 2012 RANCH (Effekte durch Luftschadstoffe beeinflusst?)
 Clark et al., 2013 RANCH London; longitudinal, 6 Jahre
 Seabi 2013, (Südafrika) allgemeine Gesundheit und Symptome
 Klante et al., 2015/16 NORAH

Kognitive Fähigkeiten

Matheson et al., 2010 RANCH Flug- und Straßenverkehrslärm und episodic memory
 Stansfeld et al., 2010 RANCH und München; nächtl. Fluglärm und Kognition
 Van Kempen et al., 2010 RANCH (nur Holland) Verhalten und Kognition
 Van Kempen et al., 2012 RANCH (Effekte durch Luftschadstoffe beeinflusst?)
 Clark et al., 2012 RANCH (Effekte durch Luftschadstoffe beeinflusst?)
 Clark et al., 2013 RANCH London; longitudinal 6 Jahre
 Klante et al., 2015/16 NORAH
 Seabi et al., 2012 (Südafrika) Fluglärm – Leseverständnis und Muttersprache

Im letzten Bericht waren auch verschiedene Studien zu Fluglärm und Schwangerschaftsdauer und Geburtsgewicht vorgestellt worden. Da seither keine weiteren Studien zu dieser Frage erschienen sind, wird nachfolgend hierauf nicht mehr eingegangen.

In Teil III werden die einzelnen Studien - alphabetisch geordnet nach Erstautor - detaillierter vorgestellt. Da die meisten Untersuchungen im Rahmen der RANCH- und der NORAH-Studie erhoben wurden, wird vor Besprechung der Einzelstudien zu Beginn dieses Teils ein tabellarischer Überblick über die Publikationen aus diesen Studien, deren Fragestellungen und über die Ergebnisse gegeben.

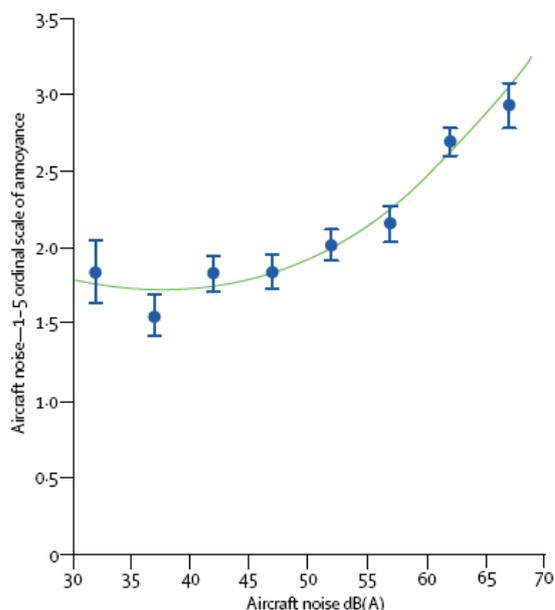
1. Belästigung durch Fluglärm bei Kindern

Was war bekannt?

Bereits in unserer letzten Literaturübersicht zu den Wirkungen von Fluglärm auf Kinder wurde festgestellt: In den Untersuchungen, in denen die Belästigung von Kindern durch Fluglärm erhoben wurde, wurde bestätigt, dass Fluglärm auch Kinder belästigt (u.a. Bullinger et al., 1999; Haines et al., 2001 a-c; Stansfeld et al., 2005).

Insbesondere die im Jahr 2005 veröffentlichten Ergebnisse der multizentrischen RANCH-Studie zeigten bereits, dass mit zunehmender Fluglärmbelastung die Belästigung der Kinder signifikant zunahm. Es zeigte sich auch, dass Fluglärm als belästigender empfunden wird als Straßenverkehrslärm (Stansfeld et al., 2005).

Abb. 14 RANCH-Studie - Fluglärmbelastung an der Schule und Belästigung bei 9-11 Jahre alten Kindern (Stansfeld et al., 2005)



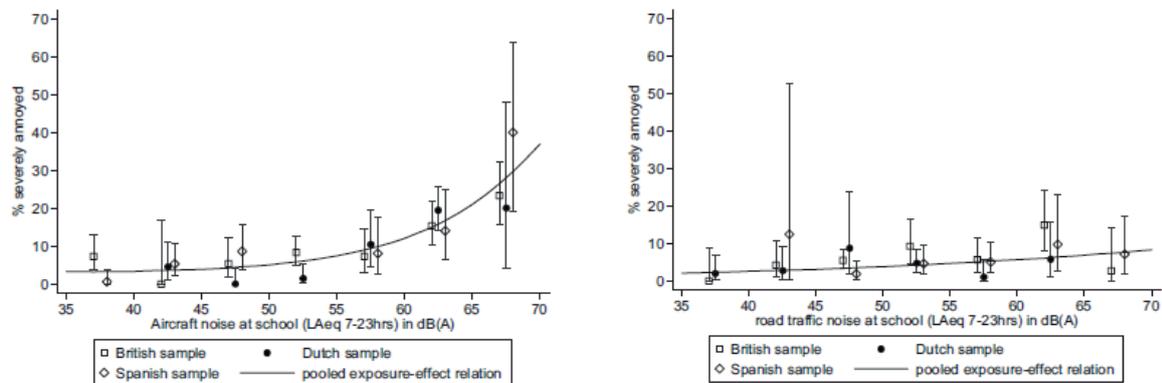
Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

RANCH (London, Madrid, Amsterdam): Van Kempen et al. publizierten die Belästigungsdaten der in den Jahren 2001-2003 im Rahmen der multizentrischen RANCH-Studie befragten 2.844 Kinder zwischen 9 und 11 Jahren detaillierter. Die Kinder besuchten eine von 89 teilnehmenden Schulen im Umfeld der Flughäfen London, Amsterdam, Madrid. Die Kinder - und ihre Eltern - beantworteten in einem Fragebogen Fragen zur individuellen Belästigung durch Fluglärm. Die Lärmbelastung für die Schul- und Wohnadresse der teilnehmenden Kinder wurde entsprechend nationalen Lärmmodellen erhoben (äquivalenter Dauerschalldruckpegel 6-23 Uhr). Der Straßenverkehrslärm konnte nur für den Schulstandort berechnet werden.

Die Kinder klagten insbesondere ab einer Lärmbelastung durch Fluglärm über 55 dBA über zunehmende Lärmbelastung - landesunabhängig und trotz unterschiedlicher Lärmbelastung in den verschiedenen Städten. Die Belästigung durch Straßenverkehrslärm wurde von ihnen bei gleichem Schalldruckpegel sehr viel geringer eingestuft (s. Abb. 15). Die Expositions-Wirkungsbeziehungen (Fluglärm, Belästigung) von Eltern und Kindern waren ähnlich ausgeprägt. Es zeigte sich jedoch auch,

dass die Kinder bei Lärmbereichen >55 dB weniger belästigt waren durch Lärm (Van Kempen et al., 2009).

Abb. 15 Anteil der stark durch Lärm an der Schule - Fluglärm (links) und Straßenverkehrslärm (rechts) - belästigten Kinder in verschiedenen Ländern (van Kempen et al., 2009)



RANCH – Belästigung und Gesundheit: Im Rahmen von RANCH wurden die Kinder auch nach Symptomen im letzten Monat gefragt, u.a. Kopfschmerzen, Erbrechen, Bauchschmerzen, Schlafstörung, Schwierigkeiten beim Einschlafen und beim Durchschlafen (Aufwachreaktionen). Diese standardisierten Fragen waren mit einer 5-Punkte-Skala zu beantworten (nie, selten, einmal pro Woche, ein paar Mal pro Woche, jeden Tag oder jede Nacht). Dabei zeigten sich keine direkten Zusammenhänge zwischen der Lärmbelastung und den erfragten Symptomen. Es zeigte sich aber ein Zusammenhang zwischen der individuell empfundenen **Belästigung** durch Fluglärm und der Angabe von **Symptomen**. Das heißt, Kinder, die angaben, durch Lärm belästigt zu sein, klagten über mehr Symptome als die, die nicht subjektiv belästigt waren (Van Kempen et al., 2010).

RANCH (London). Belästigung über längere Zeit: Insgesamt 461 der ursprünglich 1.174 eingeschlossenen Teilnehmer der RANCH-Studie im Umfeld des Flughafens London-Heathrow wurden nach 6 Jahren in Bezug auf Leseverständnis, psychische Gesundheit, Hyperaktivität, Verhaltensstörung und emotionale Probleme nachuntersucht. Dabei wurde auch die aktuelle Belästigung erhoben. Kinder, die in der Grundschule und die in der weiterführenden Schule starkem Fluglärm ausgesetzt waren, beschrieben weiterhin eine stärkere Belästigung (Clark et al., 2013).

NORAH: Im Rahmen der NORAH-Studie wurde bei Kindern der Einfluss von Fluglärm auf die kognitiven Fähigkeiten, Erkrankungsrisiken und Lebensqualität untersucht. Insgesamt 1.243 Kinder im Umfeld des Frankfurter Flughafens wurden zwischen 2012 und 2013 eingeschlossen (Klatte et al., 2016). Die „individuell empfundene Belästigung“ durch Fluglärm wurde abgefragt nach Vorlesen der Frage auf einer 4-stufigen alters-adaptierten Skala. Ebenso wurde auch das Wohlbefinden der Kinder in der Schule abgefragt (hier auf einer 5-stufigen Skala). Die Eltern beantworteten Fragebogen über die bereits angesprochenen möglichen Confounder und auch über die Lebensqualität der Kinder (Schlaf, allgemeine Erkrankungen etc.).

In Bezug auf die individuell empfundene Belästigung durch Fluglärm zeigte sich auch hier eine signifikante Korrelation der Beurteilungen von Kindern, Eltern und Lehrern mit der Lärmexposition am Schulstandort. Höhere Fluglärmexposition ging mit höheren Beurteilungen der Belästigung einher. Es zeigte sich insgesamt eine hohe Korrelation zwischen den Pegeln am Schul- und Wohnort, so dass

keine differenzierte Aussage zwischen der Wirkung von Fluglärm am Schul- oder Wohnort getroffen werden kann.

Südafrika: Eine weitere Studie zu **Fluglärm und Belästigung bei Kindern** wurde aus dem Umfeld des Flughafens Durham International Airport, Südafrika publiziert. Dort wurden im Jahr 2009 insgesamt 732 Kinder im Alter von 8-14 Jahren untersucht. Davon konnten im Jahr 2010 649 Kinder und im Jahr 2011 noch 174 Kinder nachuntersucht werden. Die Kinder stammten aus zwei zu Beginn stark fluglärmbelasteten Schulen (high noise schools; mittl. Schalldruckpegel 63,5-69,9 dB tags) und zwei Kontrollschulen (low noise, mittl. Schalldruckpegel 54,4-55,3 dB). Sie wurden zu ihrer Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm befragt (7 Fragen). Kinder aus den lärmbelasteten Schulen waren deutlich mehr durch Fluglärm an der Schule belästigt als die Kinder aus den Kontrollschulen (2,9 vs. 1,8 auf der Skala 0-4). Nach Verlegung des Flughafens und Abnahme des mittleren Schalldruckpegels auf 55 dB an den ehemals fluglärmbelasteten Schulen nahm die Stärke der Belästigung der Kinder ab und näherte sich den Angaben der Kinder aus den Kontrollschulen an (Seabi, 2013).

Zusammenfassend: Fluglärm und Belästigung bei Kindern:

1. Fluglärm belästigt auch Kinder (Stansfeld., 2005; Klatte et al., 2015; van Kempen et al., 2009; Seabi 2013).
2. Kinder scheinen bei Lärmbereichen > 55 dB weniger belästigt zu sein als ihre Eltern (van Kempen 2009).
3. Auch nach längerer Belastung durch Fluglärm bleibt die Belästigung durch Fluglärm hoch (Clark et al., 2013).
4. Nimmt der Fluglärm beispielsweise durch Verlegung des Flughafens ab, sinkt auch die Belästigungsreaktion (Seabi 2013).
5. Die Belästigung durch Fluglärm ist eher mit allgemeiner Gesundheit resp. verschiedenen Symptomen assoziiert als der tatsächliche Schalldruck (van Kempen et al., 2010)

2. Allgemeine und psychische Gesundheit

Was war bekannt?

Hier waren die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen nicht konsistent (Heudorf 2008). In einer älteren Untersuchung waren entgegen der Hypothese bei stark fluglärmbelasteten Kindern keine vermehrten Schulabwesenheitstage wegen Krankheit gefunden worden im Vergleich mit Kontrollgruppen (Cohen et al., 1980, 1981). In Japan wurden teilweise signifikante Assoziationen zwischen Fluglärmbelastung und gesundheitlichen Beschwerden bei Kindern festgestellt, mit unterschiedlichen Beschwerden im Umfeld verschiedener Flughäfen (Matsui et al., 2000). In verschiedenen Untersuchungen in London wurden teilweise Zusammenhänge zwischen Fluglärmbelastung und psychischer Gesundheit der Kinder gefunden (Haines et al., 2001 a-c). In der multizentrischen RANCH-Studie ergaben sich keine Assoziationen zwischen Fluglärm und der (erfragten) allgemeinen Gesundheit von Kindern (Stansfeld et al., 2005). Die Daten zu möglichen Zusammenhängen zwischen der Fluglärmbelastung und den Blutdruckwerten bei Kindern waren nicht konsistent: Bei den im Rahmen der RANCH-Studie untersuchten Kindern in Holland war ein Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und den Blutdruckwerten erkennbar, nicht bei den Kindern aus England (van Kempen et al., 2006).

Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

RANCH – Im Rahmen der RANCH-Studie wurden in den Jahren 2001-2003 insgesamt 2.844 Kinder im Alter von 9 bis 11 Jahren im Umfeld der Flughäfen London-Heathrow, Amsterdam Schiphol und Barajas, Madrid u.a. im Hinblick auf Wirkungen des Flug- und Straßenverkehrslärms u.a. auf die Gesundheit untersucht. Die Kinder wurden nach Symptomen im letzten Monat gefragt, u.a. Kopfschmerzen, Erbrechen, Bauchschmerzen, Schlafstörung, Schwierigkeiten beim Einschlafen und beim Durchschlafen (Aufwachreaktionen). Diese standardisierten Fragen waren mit einer 5-Punkte-Skala zu beantworten (nie, selten, einmal pro Woche, ein paar Mal pro Woche, jeden Tag oder jede Nacht). In einer multivariaten Analyse der Daten zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Belastung durch Fluglärm mit dem Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen. Sowohl in der Gesamtpopulation als auch in den einzelnen Ländern litten durch Fluglärm hochbelastete Kinder nicht häufiger an den erfragten Symptomen (Kopfschmerzen, Übelkeit, Bauchschmerzen, Schlafstörungen). Das gleiche galt auch für Straßenverkehrslärm. Es zeigte sich aber ein Zusammenhang zwischen der individuell empfundenen **Belästigung** durch Fluglärm und der Angabe von **Symptomen** (Van Kempen et al., 2010).

Darüber hinaus wurde im Rahmen der RANCH-Studie die **Gesundheit und Lebensqualität der Kinder mit dem Strength and Difficulties Questionnaire SDQ-Fragebogen** erfragt, der die geistige (mentale) Gesundheit einschließlich emotionaler und Verhaltensprobleme, Hyperaktivität, Gruppenverhalten und prosoziales Verhalten abbildet. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zu Fluglärm in der Kategorie Hyperaktivität, nicht in den Kategorien Verhaltensauffälligkeiten, Gruppenverhalten, unsoziales Verhalten und emotionale Probleme. Im Gesamtpunktwert für die mentale Gesundheit zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zur Fluglärmbelastung. Auch für die Belastung durch Straßenverkehrslärm wurden keine Zusammenhänge zur allgemeinen Gesundheit erhalten. Hier fand sich ein signifikanter Zusammenhang lediglich in der Kategorie Verhaltensauffälligkeiten (nicht in den anderen Kategorien und nicht im Gesamtpunktwert) (Stansfeld et al., 2009).

RANCH – Kinder mit early biological risk: In einer Untergruppe von 1.900 Kindern mit vollständiger Geburtsanamnese aus allen drei untersuchten Ländern wurde der Frage nachgegangen, ob Fluglärm

und Straßenverkehrslärm einen zusätzlichen Risikofaktor für Verhaltensauffälligkeiten und emotionale Symptome bei Kindern mit Geburtsrisiko (early biological risk) darstellt. 11,5% der Teilnehmer erfüllten das Kriterium „Early biological risk“ (Frühgeburtlichkeit/Unreife). Kinder mit dem bekannten Risikofaktor „early biological risk“ zeigten häufiger emotionale Störungen und Verhaltensauffälligkeiten wie sie per SDQ Fragebogen erhoben werden. Es zeigte sich bei diesen Kindern jedoch kein zusätzlicher Effekt durch Flug- oder Straßenlärm (Crombie et al., 2011).

RANCH – Frage zusätzlicher Effekte verkehrsbedingter Luftverschmutzung auf den Einfluß des Verkehrslärms auf die Gesundheit der Kinder. Dieser Frage wurde bei den britischen Kindern der RANCH-Studie nachgegangen. In London konnten für 75% der ursprünglich teilnehmenden Kinder, also 719 Kinder, retrospektiv Daten der verkehrsbedingten Luftverschmutzung an den Schulen berechnet werden, als Maß für die Luftverschmutzung wurde NO₂ genutzt. Die Luftbelastung war weder mit dem angegebenen psychischen Stress, der selbst angegebenen Gesundheit oder dem systolischen und diastolischen Blutdruck korreliert und beeinflusste auch die Assoziation zwischen Flug- und Straßenverkehrslärm auf die Gesundheit der Kinder nicht (Clark et al., 2012).

Follow-up, RANCH, 2013: Im Rahmen einer Langzeituntersuchung wurden die im Rahmen der RANCH-Studie im Umfeld des Flughafens London-Heathrow untersuchten Kinder nachuntersucht. Die Untersuchung umfasste 461 der ursprünglich 1.174 Kinder, die weiterhin an der Schule hohen Fluglärmbelastungen ausgesetzt waren. In Bezug auf die mentale Gesundheit (Kategorien hier: psychische Probleme, Hyperaktivität, Verhaltensauffälligkeiten, emotionale Störungen) zeigte sich auch im Langzeitverlauf nach 6 Jahren keine signifikante Beeinträchtigung durch Fluglärm; die ursprüngliche Assoziation zu Hyperaktivität war nicht mehr nachweisbar - möglicherweise dadurch bedingt, dass die nachuntersuchte Gruppe jetzt zu klein war (Clark et al., 2013).

NORAH: Auch im Rahmen der NORAH-Studie wurde die Wirkung von Fluglärm auf die Lebensqualität, individuelle Belästigung, die kognitiven Fähigkeiten und die mentale und körperliche Gesundheit von 1.243 Kindern im Alter von 9-11 Jahren untersucht. Auch hier wurde individuell für jeden Schüler die Lärmbelastung am Schul- und am Wohnort berechnet. Die Lebensqualität wurde abgefragt per Lebensqualitätsfragebogen (KINDL-R). Das psychische Wohlbefinden wurde mit Hilfe von 6 Fragen und jeweils 5 Antwortmöglichkeiten analysiert. Die körperliche Gesundheit wurde mit drei Fragen abgefragt (auch jeweils 5 Skalenwerte für die Antwort, von „niemals“ bis „fast immer“) (Klatte et al., 2016). Hier zeigten sich geringe, aber statistisch signifikante Einflüsse des Fluglärms auf die Lebensqualität. Es zeigte sich bei höherer Fluglärmexposition eine schlechtere Schlafqualität.

Desweiteren gingen hohe Fluglärmbelastungen auch mit schlechteren Beurteilungen des körperlichen und psychischen Wohlbefindens durch die Eltern und die Kinder einher. Zudem gaben Eltern aus hoch-fluglärm-exponierten Gebieten signifikant häufiger an, dass bei ihrem Kind eine Sprachstörung diagnostiziert wurde und dass ihr Kind derzeit ärztlich verordnete Medikamente einnimmt. Bei den übrigen abgefragten Erkrankungen bzw. Symptomen (grippaler Infekt, Mittelohrentzündung, Allergie, Neurodermitis, Migräne, Aufmerksamkeitsstörung) fielen keine Zusammenhänge auf.

Südafrika: Bei der Untersuchung von 732 Kindern im Alter von 8-14 Jahren im Umfeld des südafrikanischen Flughafens Durban wurden standardisierte Fragen zur allgemeinen Gesundheit und zu Symptomen gestellt. Die Kinder stammten aus zwei stark fluglärmbelasteten Schulen (high noise schools; mittl. Schalldruckpegel 63,5-69,9 dB tags) und zwei Kontrollschulen (low noise; mittl. Schalldruckpegel 54,4-55,3 dB). Die niedrig belasteten Schulen waren nach soziodemographischen Charakteristika ausgesucht worden, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Im Ergebnis gaben Kinder aus den hochbelasteten Schulen keinen schlechteren allgemeinen Gesund-

heitszustand an und berichteten auch nicht häufiger die einzelnen abgefragten Symptome wie Kopfschmerzen, Erbrechen, Bauchschmerzen, Schlafstörung (die Kinder der Kontrollschulen hatten sogar einen schlechteren Gesundheitszustand angegeben) (Seabi 2013).

Zusammenfassung Fluglärm und allgemeine sowie psychische Gesundheit bei Kindern:

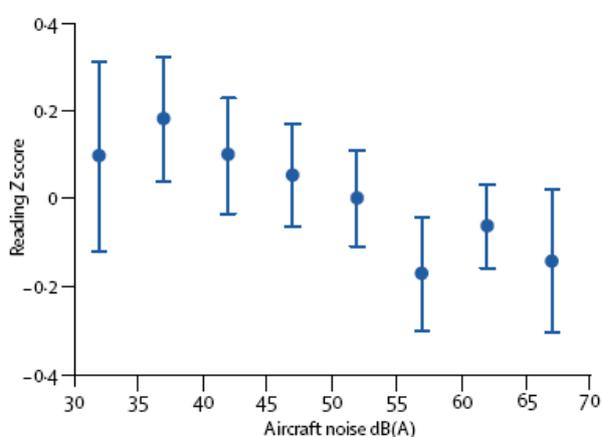
1. Die selbst berichtete Gesundheit und die erfragten Symptome der Kinder zeigten in einer Untersuchung geringe, statistisch signifikante Zusammenhänge zur Fluglärmbelastung (schulbezogenes Wohlbefinden, Kopf- und Bauchschmerzen, nicht gut schlafen) – ebenso wie das von den Eltern berichtete körperliche und mentale Wohlbefinden der Kinder (Klatte et al., 2014). In anderen Untersuchungen ließen sich keine eindeutigen Zusammenhänge zur Belastung mit Fluglärm erkennen (van Kempen et al., 2010; Seabi 2013), sie waren in einer Untersuchung eher mit der Belästigung durch Fluglärm assoziiert (van Kempen et al., 2010).
2. Bei der mit dem SDQ-(Strength and difficulties)-Fragebogen erhobenen geistigen und körperlichen Gesundheit einschließlich Verhaltensauffälligkeiten, emotionaler Probleme etc. konnten keine konsistenten Zusammenhänge zur Fluglärmbelastung nachgewiesen werden, weder in der ersten Querschnitt- noch in der Längsschnittuntersuchung (Stansfeld et al., 2009; Clark et al., 2013). Die bei der Erstuntersuchung erkennbaren Zusammenhänge zur Hyperaktivität waren bei den 6 Jahre später nachuntersuchten Kindern nicht mehr nachweisbar (Clark et al., 2013). Auch Kinder mit hohem Geburtsrisiko wiesen bei höheren Fluglärmbelastungen keine höheren SDQ-Score oder Einzelsymptome auf (Crombie et al, 2011).
3. Die zusätzliche Berücksichtigung von verkehrsbedingter Luftverschmutzung (NO₂) veränderte die Assoziationen zwischen den Angaben zur Gesundheit und den gemessenen Blutdruckwerten und der Verkehrslärmbelastung nicht; sie war nicht mit der angegebenen Gesundheit assoziiert (Clark et al., 2012).

3. Motivation und kognitive Fähigkeiten

Was war bekannt?

Zu dieser Frage wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht (Heudorf 2008). Die Ergebnisse zu Gedächtnisleistungen waren nicht konsistent; hier gibt es - ebenso wie bei den Schulleistungen - Hinweise, dass andere Faktoren (familiäre, soziale) oft stärker sind und dann einen möglichen Einfluß des Fluglärms überlagern. Demgegenüber haben sich aber in allen Untersuchungen übereinstimmend Hinweise darauf gefunden, dass Fluglärmbelastung zu einer Beeinträchtigung der Lesefähigkeit, bzw. des Sprachverständnisses beim Lesen insbesondere schwieriger Texte führt. Dies wurde besonders anschaulich in der RANCH-Untersuchung dargestellt (Stansfeld et al., 2005).

Abb. 16 RANCH-Studie - Kinder - Fluglärmbelastung an der Schule und Leseverständnis (Stansfeld et al., 2005)



Tab. 8 RANCH-Studie – Kinder - Zusammenhangsanalysen zwischen verschiedenen kognitiven Leistungen bei Kindern und Fluglärmbelastung (Stansfeld et al., 2005)

	n	Flug- lärm (Modell 1)	Flug- lärm (Modell 2)	p-Wert	Straßen- lärm (Modell 1)	Straßen- lärm (Modell 2)	p-Wert
		β	β		β	β	
Leseverständnis	2010	-0,009	-0,008	0,0097	0,003	0,002	0,5413
Gedächtnis - Wiedererkennung	1998	-0,021	-0,018	0,0141	0,006	0,005	0,6237
cued recall conceptual	1975	-0,006	-0,004	0,2684	0,013	0,013	0,0066
cued recall information	1974	-0,030	-0,022	0,1531	0,04	0,038	0,0489
prospective memory	1958	-0,015	-0,015	0,125	0,007	0,007	0,136
working memory	1938	-0,024	-0,021	0,3412	0,033	0,03	0,2742
Anhaltende Aufmerksamkeit	1938	-0,051	-0,037	0,7471	-0,02	-0,046	0,7499
Psychische Gesundheit (mental)	2014	0,015	0,013	0,3098	-0,012	-0,018	0,2747
Gesundheit nach Selbstangabe	1970	-0,001	-0,002	0,4345	0,005	0,005	0,0725
Lärmbelästigung	1969	0,037	0,037	0,0001	0,017	0,016	0,0047

Die Autoren kamen nach den o.g. Ergebnissen zu folgenden Schlussfolgerungen:

Stansfeld et al., 2005:

- **Flug- und Straßelärm** waren signifikant assoziiert mit Belästigung (Fluglärm >> Straßelärm) – nicht linear
- Es wurde eine lineare Dosis-Wirkung zw. **Fluglärm** und abnehmendem Leseverständnis und - in geringerem Maße - auch der Wiedererkennung (Gedächtnis) gefunden
- Keine Assoziation von **Fluglärm** mit episodic memory, information and conceptual recall, working and prospective memory oder Aufmerksamkeit
- Lineare Dosis-Wirkung zw. **Straßelärm** und Verbesserung (!) des episodic memory, information and conceptual recall
- **Weder Flug- noch Straßelärm** hatten einen Einfluss auf Aufmerksamkeit, selbst angegebene physische und psychische Gesundheit

Clark et al., 2006:

- Fluglärm an der Schule war negativ korreliert mit dem Leseverständnis (auch nach Kontrolle für sozioökonomische Faktoren)
- Fluglärm an den Schulen war hochsignifikant korreliert mit Fluglärm zu Hause
 - England $r=0,91$
 - Niederlande $r=0,93$
 - Spanien $r= 0,85$
- Zunehmender Fluglärm zu Hause war hochsignifikant assoziiert mit abnehmendem Leseverständnis.
- Es wurde keine zusätzliche Leistungsminderung durch Fluglärmbelastung zu Hause gefunden, nach Adjustierung für Fluglärmbelastung an der Schule.

Bericht „Fluglärm und Gesundheit“ 2008

Ergebnisse weiterer Publikationen seit 2008

RANCH und Münchner Studie – Schlafqualität und kognitive Fähigkeiten: Im Rahmen einer Nachauswertung der publizierten RANCH-Studie ($n= 857$; 9-10 Jahre) (Stansfeld et al., 2005) und der Untersuchung der Kinder im Umfeld des Münchner Flughafens ($n= 326$; 9-11 Jahre) (Bullinger et al., 1999) gingen Stansfeld et al. der Frage nach, inwieweit nächtlicher Fluglärm die kognitiven Leistungen der Kinder beeinträchtigt, direkt oder über gestörten Schlaf und Erholung. Waren bei der RANCH-Studie in allen untersuchten Ländern die Tageslärmpegel berücksichtigt worden, wurde nun noch für die Kinder der RANCH-Studie aus London die von der britischen Luftfahrtbehörde ermittelte nächtliche Lärmbelastung zur Verfügung gestellt und retrospektiv ausgewertet. In der Münchner Studie war bereits zu Beginn der 24-h Pegel in die Auswertungen eingegangen.

Da in München vor und nach der Verlegung des Flughafens – mit Kindern, die nach der Verlegung weniger bzw. mehr belastet waren – insgesamt über die 3 Untersuchungsperioden von 18 Monaten die Schlafqualität der Kinder weitgehend unabhängig von der Fluglärmexposition blieb und die Fehlerhäufigkeit in allen Gruppen abnahm, unterstützten diese Ergebnisse nach Ansicht der Autoren nicht die Hypothese, dass nächtlicher Fluglärm über eine schlechtere Schlafqualität die kognitiven Fähigkeiten der Kinder negativ beeinflusst.

Bei den Kindern aus London war das Leseverständnis signifikant negativ mit dem Fluglärm am Tage assoziiert gewesen (Stansfeld et al., 2005), die zusätzliche Berücksichtigung nächtlichen Fluglärms zeigte jedoch keinen zusätzlichen Effekt auf das Leseverständnis der Kinder. Allerdings war die Fluglärmbelastung am Tag und in der Nacht sehr eng miteinander korreliert. Die Autoren schlossen: „Die Ergebnisse beider Studien weisen darauf hin (suggest), dass nächtlicher Fluglärm offenbar die kognitiven Leistungen und deren Abnahme durch Fluglärm am Tage nicht weiter beeinflusst. Wir

schlagen vor, dass der Hauptfokus auf die Schule und deren Umfeld gelegt wird, wenn es um den Schutz der Kinder vor fluglärmbedingten Effekten auf die Schulleistungen geht“ (Stansfeld et al., 2010).

RANCH – Frage zusätzlicher Effekte verkehrsbedingter Luftverschmutzung auf den Einfluß des Verkehrslärms auf die kognitiven Fähigkeiten der Kinder. Dieser Frage wurde sowohl bei den niederländischen als auch bei den britischen Kindern nachgegangen. In London konnten für 75% der ursprünglich teilnehmenden Kinder, also 719 Kinder, retrospektiv Daten der verkehrsbedingten Luftverschmutzung an den Schulen berechnet werden, als Maß für die Luftverschmutzung wurde NO₂ genutzt. Die Luftbelastung war mit keinem der kognitiven Testverfahren korreliert und beeinflusste auch die negative Assoziation zwischen Flug- und Straßenverkehrslärm auf die kognitiven Fähigkeiten der Kinder nicht (Clark et al., 2012).

Auch für die Gruppe der im Rahmen von RANCH untersuchten 553 holländischen Kinder wurden retrospektiv Daten zur verkehrsbedingten Luftverschmutzung erhalten und dann der Frage nach einem (zusätzlichen) Einfluß der verkehrsbedingten Luftbelastung (NO₂) auf den verkehrslärmbedingten Einfluß auf die kognitiven Leistungen der Kinder nachgegangen. In dieser Untersuchung hatte die NO₂-Belastung an der Schule (nicht zu Hause) einen signifikant negativen Effekt auf die untersuchte Gedächtnisspanne, der auch nach Berücksichtigung (Korrektur) der Straßen- und Fluglärmbelastung erhalten blieb. Falls die Luftbelastung und die Straßenverkehrslärmbelastung gemeinsam untersucht wurden, wurden negative Effekte auf die untersuchten Reaktionszeiten und den block and error-Test erhalten (Van Kempen et al., 2012)

RANCH: Belästigung und kognitive Funktionen bei verkehrslärmbelasteten Kindern. Van Kempen et al., (2010) gingen der Frage nach, inwiefern die individuell empfundene Belästigung ein Vermittler oder sogar ein Confounder für die Wirkung von Fluglärm ist. Kinder, die angaben, durch Fluglärm an der Schule belästigt zu sein, machten mehr Fehler im Switch condition-Test und hatten eine signifikant geringere Erinnerungsspanne als Kinder, die nicht belästigt waren. Diese Zusammenhänge zeigten sich nicht bei Belästigung durch Straßenverkehrslärm. Insgesamt war der Einfluß des Fluglärms auf die kognitiven Leistungen durch die Berücksichtigung der Belästigung aber nicht wesentlich verändert, d.h. Belästigung wirkte nicht als Confounder (Van Kempen et al., 2010).

RANCH, NES-Testungen: Bei der RANCH Studie, bei der grundsätzlich insgesamt 2.844 Kinder eingeschlossen wurden, wurden sehr vielfältige Bereiche der kognitiven Funktion untersucht. Unter anderem wurde in einer Veröffentlichung von 2010 über den Einfluss von Fluglärm (und Straßenverkehrslärm) auf Aufmerksamkeit und Reaktionsschnelligkeit berichtet (Van Kempen et al., 2010). Hierbei wurden die Daten des sogenannten Neurobehavioral Evaluation Systems (**NES**) analysiert und zwar mit den Daten einer Subgruppe von 553 niederländischen Kindern. Dieses ist ein Bildschirm-basiertes Testverfahren mit insgesamt 10 Testscores unter anderem für Schnelligkeit und Fehlerhäufung bei verschiedenen Aufgaben. Hier zeigte sich für die Beeinflussung durch Fluglärm ein signifikant schlechteres Ergebnis in einem von 10 Testscores, nämlich bei der Fehlerhäufigkeit des sogenannten Aufmerksamkeitstests, Switch Condition. Für die Beeinflussung durch Straßenverkehrslärm zeigte sich in einem anderen Testscore (Fehlerhäufigkeit beim Aufmerksamkeitstest, Arrow Score) ein signifikant schlechteres Ergebnis. Die Autoren schlussfolgern unter anderem, dass die Testung der kognitiven Fähigkeiten von Kindern durch Bildschirm-basierte Testungen wie diesen ergänzt werden können, um insbesondere Fertigkeiten wie die Reaktionsschnelligkeit zu evaluieren.

RANCH, Gedächtnisleistungen: Aus den Papier-basierten Tests des RANCH Studienprojektes konnten Aussagen zum Leseverständnis gemacht werden wie bereits in „Fluglärm und Gesundheit“ berichtet. Es können allerdings auch Angaben zu **Gedächtnisleistungen** (episodic memory) abge-

leitet werden. Diese werden beurteilt in Kategorien wie Recognition memory (Wiedererkennung), Cued Recall (Informations- und Begriffserinnerung) und Prospective Memory („Vorausschauende Erinnerung“). In einer Analyse von 2010 zeigte sich eine Beeinträchtigung durch Fluglärm in den Testungen für Recognition Memory, nicht in den übrigen Testungen (Matheson et al., 2010). In einer der Testungen (cued recall) zeigte sich für die Belastung durch Straßenverkehrslärm sogar eine Verbesserung der Testleistung.

Follow-up, RANCH, 2013: Insgesamt liegen zum Thema „Fluglärmwirkungen“ nur wenige „Längsschnitt-Untersuchungen“ vor. In Bezug auf die Beeinflussung der kognitiven Leistung von Kindern durch Fluglärm wurde 2013 eine **Follow-up Untersuchung** des RANCH Studienprojektes veröffentlicht (Clark et al., 2013). Hier wurden insgesamt 461 der britischen RANCH Teilnehmer nach 6 Jahren unter anderem auf ihre Leseleistungen untersucht. Es wurden nur Kinder untersucht, die während des gesamten Zeitraumes in Nähe zum Flughafen London Heathrow lebten. Hier war eine Beeinträchtigung des Leseverständnisses im Langzeitverlauf nicht signifikant nachweisbar.

NORAH, Deutschland: Die Testverfahren der deutschen NORAH Kinderstudie orientierten sich an Fertigkeiten, die mit dem „Lesen“ in Verbindung stehen. Es wurden Punktwerte erhoben zu den Kategorien: Wortverständnis, Satzverständnis und Textverständnis. Desweiteren wurden sogenannte Vorläuferfertigkeiten erhoben. Es zeigten sich hier beeinträchtigende Effekte der Fluglärmexposition am Schulstandort auf die Leseleistung und zwar sowohl bei den Gesamtergebnissen als auch in den Tests „Wortverständnis“ und „Textverständnis“. Die Beeinträchtigung des Leseverständnisses kann als lineare Expositions-Wirkungsbeziehung beschrieben werden. Ein Anstieg der Fluglärmbelastung um 10 dB ging mit einer Verschlechterung der Gesamterleistung von 1/10 der Standardabweichung einher. Das entspricht einem Rückstand von 1 Monat in der Leseentwicklung (Klatte et al., 2014). Eine Zunahme von 20 dB des Geräuschmittelungspegels war rechnerisch assoziiert mit einer Verschlechterung der Leseleistung um 2 Monate. In den Testverfahren „Vorläuferfertigkeiten“ zeigten sich keine Effekte durch Fluglärm (Katte et al., 2016).

Die NORAH Kinderstudie diskutiert neben dem nachweisbaren Effekt einer Reduzierung der Leseleistung durch Fluglärm bei Zweitklässlern auch daran beteiligte Aspekte. Die Auswahl der Schulen erfolgten bei NORAH (wie auch bei RANCH) mit dem Ziel, mögliche Confounder zu beseitigen. Desweiteren wurden Faktoren, die als Confounder zu bezeichnen sind, bei den teilnehmenden Kindern erhoben, um ihren Effekt nachweisen zu können. So zeigte sich z.B., dass die Effekte des Fluglärms bei Kindern ohne Migrationshintergrund gegenüber der Gesamtgruppe deutlicher zutage traten. Bei den Kindern mit Migrationshintergrund zeigten sich sogar keine statistisch signifikanten Fluglärm-effekte mehr. Erklärt wird dies mit einer höheren statistischen Wahrscheinlichkeit in dieser Gruppe ebenfalls ungünstige Einflussfaktoren für die Leseentwicklung zu haben wie Sozialstatus, schlechtere Deutschkenntnisse und geringerer Förderung von lesebezogenen Aktivitäten in der Familie.

Ein weiterer Erklärungsansatz postuliert, dass auch die Entwicklung exekutiver Aufmerksamkeitsfunktionen sowie kulturelle Einflüsse eine Rolle spielen. Eine Analyse der Daten zeigt, dass Kinder mit Migrationshintergrund im Vergleich zu denen ohne eher in Haushalten mit mehreren/vielen Personen leben und gleichzeitig weniger Wohnraum zur Verfügung haben. Diese Unterschiede bleiben auch bei Kontrolle des Sozialstatus signifikant bestehen. Es könnte angenommen werden, dass Kinder in dieser Umgebung mehr Lärm ausgesetzt sind.

Ein weiterer diskutierter Aspekt ist die Vermittlung der Einschränkung der Leseleistung. So zeigte sich anhand der Daten auch, dass eine höhere Fluglärmexposition auch mit weniger positiven Schul- und Lerneinstellungen der Kinder einherging. Die Befragung der Lehrer gab Hinweise darauf, dass auch

Unterbrechungen des Unterrichts für diesen Rückstand verantwortlich sein könnten (Klatte et al., 2016).

Beeinträchtigende Effekte der Fluglärmpegel auf die sogenannten Vorläuferfähigkeiten (Kurz- und Langzeitgedächtnis, phonologische Bewusstheit, Sprachwahrnehmung) konnten nicht festgestellt werden (Klatte et al., 2016).

Südafrika: In einer südafrikanischen Studie wurden ebenfalls die Fluglärmwirkungen auf das Leseverständnis und der Effekt der Muttersprache analysiert. Kinder mit Englisch als Muttersprache wiesen unter Fluglärmbelastung ein eher schlechteres Leseverständnis auf im Vergleich zu den Kontrollen. Dieser Einfluß des Fluglärms war bei den Kindern mit Englisch als Zweitsprache nicht erkennbar (Seabi et al., 2012).

Zusammenfassung:

1. Die neueren Studien bestätigen frühere Ergebnisse aus der RANCH-Studie, wonach das **Leseverständnis**, insbesondere schwierige Aufgaben durch Fluglärm signifikant beeinträchtigt werden, nicht leichtere Aufgaben (Stansfeld et al., 2005, Clark et al., 2006; Klatte et al., 2015/16). Sogenannte Vorläuferfertigkeiten des Lesens waren nicht beeinträchtigt (Klatte et al., 2015/16).

Dieser Effekt ist im Vergleich zu anderen Einflußfaktoren wie z.B. der Bildung der Eltern, der sozio-demographischen Faktoren oder der Leseförderung zu Hause eher gering. Er ist insbesondere bei Kindern mit Migrationshintergrund kaum nachweisbar (Klatte et al., 2015/16) im Vergleich zu denen ohne Migrationhintergrund. Kinder mit Migrationshintergrund hatten eine deutlich niedrigere Ausgangsposition, die durch Fluglärm nicht weiter signifikant reduziert wurde. Ähnliche Ergebnisse deuteten sich auch aus einer Untersuchung süd-afrikanischer Kinder an: dort hatten Kinder mit Englisch als Zweitsprache deutlich schlechtere Ergebnisse beim Leseerwerb, bei ihnen wurde aber nur ein geringer zusätzlicher Einfluß des Fluglärms gefunden – ganz im Gegensatz zu den Kindern mit Englisch als Erstsprache, bei denen der Fluglärm den Leseerwerb sehr stark negativ einflußte (Seabi et al., 2012).

Die zusätzliche Berücksichtigung des nächtlichen Fluglärms steigerte die beeinträchtigende Wirkung des Fluglärms am Tage auf den Leseerwerb nicht weiter (Stansfeld et al., 2010).

In einer Langzeituntersuchung (nach 6 Jahren) bei weiterhin fluglärmbelasteten Kindern war eine Beeinträchtigung des Leseverständnisses im Langzeitverlauf nicht mehr nachweisbar (Clark et al., 2013).

2. Im Bereich der **Kognition** wurden in verschiedenen Studien unterschiedliche Tests eingesetzt, teilweise papier-, teilweise computergestützt. Hier waren die Ergebnisse in den Untersuchungen nicht ganz einheitlich. Es zeigte sich beispielsweise ein negativer Einfluß von Fluglärm bei einem Teil der Gedächtnisleistungen, nicht bei anderen, bzw. teilweise waren die Leistungen bei Straßenverkehrslärm sogar besser (Matheson et al., 2010).
3. Bei Berücksichtigung von zusätzlicher Luftbelastung durch Verkehr (zusätzlich zu Verkehrslärm) zeigten sich Hinweise auf zusätzliche, teilweise unerwartete Effekte (z.B. längere Erinnerungsspanne bei zunehmender Luftverschmutzung); allerdings warnen die Autoren vor Verallgemeinerung und fordern weitere Studien zur Absicherung der Befunde (van Kempen et al., 2012).
4. Wie auch bei der selbstberichteten Gesundheit gab es Hinweise, dass die kognitiven Fähigkeiten der Kinder enger mit der Belästigung als mit der Belastung zusammenhängen könnten, bzw. durch die Belästigung vermittelt sind (van Kempen et al., 2010).

III. Detailbeschreibungen der einzelnen in diesem Bericht dargelegten Studien

HYENA (Hypertension and Exposure to Noise Near Airports)

Die HYENA Studie wurde in den Jahren 2003-2005 im Umfeld von 6 Großflughäfen in Europa (London-Heathrow, Berlin-Tegel, Amsterdam-Schiphol, Stockholm-Arlanda, Mailand-Malpensa, Athen-Elephtheros) durchgeführt. Primäres Ziel war es, den Zusammenhang zwischen Flug- und Straßenverkehrslärm und Bluthochdruck (> 140/90 mm HG) bei Erwachsenen zu untersuchen.

Blutdruckmessung: Alle Teilnehmer - insgesamt 4.861 Personen (2.404 Männer, 2.467 Frauen) im Alter von 45-70 Jahren, die länger als mindestens 5 Jahre im Umfeld der Flughäfen lebten, wurden an einem Tag (unterschiedliche Tageszeiten bei verschiedenen Probanden, um den ganzen Tag abzubilden) von einem geschulten Mitarbeiter besucht. Im Rahmen dieses (einen) Besuchs wurde den Probanden 3x der Blutdruck mit einem automatischen Blutdruckmessgerät gemessen. Für die Studie wurde der Mittelwert aus den ersten beiden Messungen genutzt.

Expositionsabschätzung: Für die Modellierung des Fluglärms wurden Flugbewegungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Flotten-Zusammensetzungen analysiert. Es wurden Radarspuren im Umfeld von 25 km² aus dem Jahr 2002 genutzt. Der Straßenverkehrslärm wurde mittels GPG (Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping der Europäischen Kommission WG AEN 2003) berechnet (ab 2000). Die Lärmbelastung wurde für verschiedene Tageszeiten getrennt errechnet: Schalldruckpegel L_{day} 12h(7-19h), L_{night} 8h(23-7h) und $L_{evening}$ 4h(19-23h). Für die Berechnung des Gesamt-Tages (Lden) wurden die Abendstunden zusätzlich mit 5 dB und die Nachstunden mit zusätzlich 10 dB beaufschlagt.

Confounder und Effekt-modifizierende Faktoren: Mit umfangreichen Interviews in der Wohnung der Teilnehmer wurde der Gesundheitszustand einschließlich Medikamenteneinnahme erhoben. Es wurden die Ernährungsweise, Rauchen, Lebensstilfaktoren incl. Lärm am Arbeitsplatz, Persönlichkeitsfaktoren mit Lärmsensitivität sowie Einstellung zum Flughafen erfragt. Die Lärmbelastung (Flug- und Straßenverkehrslärm – aber auch andere Lärmquellen wie z.B. Nachbarschaftslärm) wurde mit der 11-Punkte-ICBEN-Skala erfasst.

24-Stunden-Blutdruckmessung (Untergruppe) (d.h. Blutdruckmessung alle 15 min): Bei einer Untergruppe von 87 Exponierten und 62 Nicht-Nachtfluglärm-Exponierten im Umfeld von 4 Flughäfen (Athen/Griechenland, Malpensa/Italien, Arlanda/Schweden, London/GB) wurden 24h-Blutdruckmessungen im häuslichen Umfeld durchgeführt. Als Lärmindikatoren zählten Innenraumlärmbelastung (total und quellen-spezifisch), Überflugereignisse, Belästigungsscores für Fluglärm und Straßenverkehrslärm und die Lärmbelastung per äquivalentem Schalldruckpegel. Die Innenraumlärmbelastung wurde zum Zeitpunkt der Erhebung im Schlafzimmer der Probanden gemessen und nachträglich einer Lärmquelle zugeordnet.

Stresshormon im Speichel (Untergruppe): Unter der Hypothese, dass Bluthochdruck durch Stress bedingt wird, d.h. dass Stress der Vorläufer für eine Blutdruckerhöhung ist, sollte in einer Untergruppe von 500 Personen stratifiziert nach Fluglärmbelastung das „Stresshormon Cortisol“ im Speichel untersucht werden. Die Probanden sammelten Speichel 30 min nach dem Aufwachen, unmittelbar vor dem Mittagessen und vor dem zu-Bett-Gehen. Dieser wurde zunächst tiefgefroren und später im Labor mit einem Radioimmunoassay auf Cortisol untersucht.

Flug- und Straßenverkehrsbedingte Luftbelastung (4 Flughäfen): Im Umfeld der Flughäfen London-Heathrow, Amsterdam-Schiphol und Arlanda-Schweden wurden zusätzlich Luftbelastungsdaten der Probanden berechnet. Ziel war es, den Einfluss der Luftbelastung durch NO₂ als möglichen

Confounder im Zusammenhang zwischen Fluglärm und Herz-Kreislauf-erkrankungen und zwischen Straßenlärm und Herz-Kreislauf-erkrankungen zu überprüfen.

Nachfolgende Tabelle zeigt die aus der HYENA bereits hervorgegangenen Publikationen.

Tab. 9 Veröffentlichungen der HYENA Studie, erhoben 2003-2005

Jahr	Autoren, Zeitschrift	Teilnehmer	Fragestellung	Ergebnisse
2005	Jarup et al., Environmental Health Perspectives	6.000 Personen (45-70 Jahre)	Darstellung des Studiendesigns und der Lärmmodelle der HYENA Studie	Ziel ist, den Einfluss von Flug- und Straßelärm auf den Blutdruck und das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen zu untersuchen
2008	Jarup et al., Environmental Health Perspectives	4.861 Personen aus 6 EU Ländern, 45-70 Jahre	Auftreten von Bluthochdruck in Abhängigkeit von $L_{Aeq,24h}$, $L_{Aeq,16h}$, $L_{Aeq,night}$ für Flug- und Straßenverkehrslärm	Sign. Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und der nächtlichen Fluglärmbelastung, sign. Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und der 24h Lärmbelastung durch Straßenverkehr
2008	Haralabidis et al., European Heart Journal	140 Personen aus 4 EU Ländern, (Griechenland, Italien, Schweden, Großbritannien)	Akute Wirkung von Geräuschspitzen in der Nacht im Schlafzimmer auf den Blutdruck und den Puls; (automatisierte, nicht invasive Blutdruckmessung; Lärmmessung im Schlafzimmer)	15 min nach einem Lärmereignis kommt es zu signifikanten Anstiegen des Blutdrucks (systolisch und diastolisch), nicht der Herzfrequenz – bei allen Geräuschquellen (Flug, Straße, Innenraum)
2009	Babisch et al., Environment International	4.861 Personen aus 6 EU Ländern, 45-70 Jahre	Belästigung durch Fluglärm bzw. Straßenverkehrslärm, Veränderungen im Laufe der Zeit?	Die Belästigung durch Fluglärm hat (bei gleicher Lärmbelastung) in allen Ländern im Vergleich zur EU-Kurve (Daten aus 1978-1991) erheblich zugenommen; nicht bei Straßenverkehrslärm
2009	Selander et al., Environmental Health Perspectives	439 Personen aus 6 Ländern, Teilnehmer der HYENA Studie	Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und morgendlichen Cortisol-Werten	Frauen mit >60 dB Lärmbelastung hatten einen signifikant höheren morgendlichen Cortisolspiegel als die <50 dB; bei den Männern keine Korrelation
2011	Haralabidis et al., J Epidemiol Community Health	149 Personen, 45-70 Jahre, aus Griechenland, Italien, Schweden und Großbritannien	Zusammenhang zwischen Belastung durch Fluglärm, Straßenverkehrslärm und Innenraumgeräusche auf eine Absenkung des nächtlichen (diastolischen) Blutdrucks	Straßenverkehrslärm war mit einem fehlenden diastolischen Blutdruck-Dipping in der Nacht assoziiert; Fluglärm und Innenraumgeräusche nicht.
2011	Floud et al., Occup Environ Med	4.861 Personen aus 6 EU Ländern, 45-70 Jahre	Erhebung des Verbrauches von verschreibungspflichtigen Medikamenten (Blutdruckmittel, Angstlöser, Säureblocker, Schlafmittel, Asthamedikamente), in Abhängigkeit vom Fluglärm und Straßenverkehrslärm	Nur in Großbritannien und Holland sign. Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung an der Wohnadresse und der Verschreibung von blutdrucksenkenden Medikamenten (in Italien sign. negativer Zusammenhang); angstlösende Medikamente sign. pos. Zusammenhang in allen Ländern; kein Zusammenhang zw. Fluglärmbelastung und der Einnahme der anderen Medikamente: sign. Zusammenhang zwischen der Verschreibung von Beruhigungsmitteln und Straßenverkehrslärm

2013	Babisch et al., Science of the total Environment	4861 Personen aus 6 EU Ländern, 45-70 Jahre	Erhebung des 24h-Schalldruckpegels (L_{Aeq}) am Wohnort, selbstangegebene Belästigung durch Fluglärm; Blutdruck; beeinflusst die Belästigung den Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Bluthochdruck	Hinweis, dass Lärmpegel stärkere Vorhersagekraft auf das Verhältnis Lärmexposition und Bluthochdruck hat als die Lärmbelästigung; Lärmbelästigung modifiziert den Effekt zw. Lärmbelastung und Bluthochdruck
2013	Floud et al., Environmental Health	4712 Personen aus 6 Ländern	NO ₂ als Marker für Luftverschmutzung; verändert dieser Parameter den Einfluss von Straßen- und Fluglärm auf kardiovaskuläre Erkrankungen	Der Einfluss von Fluglärm auf das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und Schlaganfälle bleibt auch nach der Korrektur für NO ₂ bestehen; nicht so bei Straßenverkehrslärm

NORAH (Noise-related annoyance, cognition, and health)

Die NORAH-Studie ist die bislang größte, umfassendste Studie zu den Auswirkungen von Verkehrslärm, insbesondere Fluglärm, aber auch Straßen- und Schienenverkehrslärm auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen. NORAH deckt in verschiedenen Modulen mehr als die vier größten Bereiche ab, in denen die WHO (2011) ein Potenzial für gesundheitliche Beeinträchtigung durch Umweltgeräusche sah: Schlafstörungen, Belästigungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und kognitive Entwicklung von Kindern. (Lediglich keine weitere Untersuchung zu Tinnitus). Bei NORAH kamen Brustkrebs und Depressionen hinzu.

Generell ist keine Untersuchung bekannt, die die Expositionsseite so detailliert und umfangreich erhoben und berechnet hat. Angesichts der Begrenzung der DES-Aufzeichnungen wurden die Radarspuren aller Flugbewegungen weiter berechnet, um auch in Flughafen-ferneren Regionen der Studienregion (umhüllende Kontur der Tags- und Nacht-Dauerschallpegel > 40 dBA) belastbare Aussagen treffen zu können. Allein für die Fallkontrollstudie wurden ca. 900.000 Adressen gezogen und mit jeweils 30 akustischen Werten für die vorangegangenen 15 Jahre (1996-2010) versehen.

Modul 1: Belästigung und Lebensqualität (Gesamtbericht, S. 40)

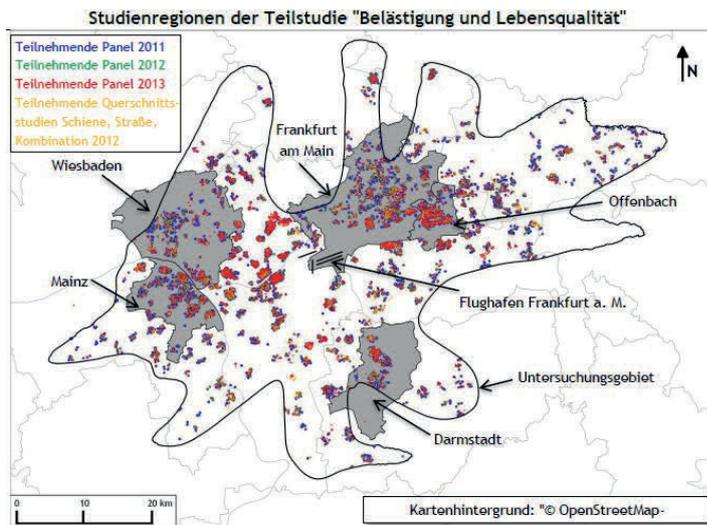
Ziele der Untersuchung zur Belästigung und Lebensqualität in Abhängigkeit von der Verkehrsgeräuschbelastung (Flug-, Straße-, Schienenverkehr) waren:

- Vergleich der Fluglärmbelastung im Umfeld des Frankfurter Flughafens vor und nach Eröffnung einer weiteren Landebahn bzw. nach Einführung der Kernruhezeit in der Nacht (Längsschnitt Fluglärm).
- Vergleich von Fluglärmbelastung, berichteten Störungen und gesundheitsbezogener Lebensqualität im Umfeld des Flughafens Frankfurt mit dem Umfeld der Flughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin (Querschnittsstudie Fluglärm).
- Vergleich der Belästigung, berichteten Schlafstörungen und der Lebensqualitätsminderung durch Luftverkehrsgeräusche mit jenen durch Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche; einschließlich der Untersuchung von Mehrfachbelastung durch verschiedene Verkehrsgeräuschquellen (Vergleich verschiedener Verkehrsträger).
- Beziehung zwischen Lärmbelastung und der berichteten gesundheitsbezogenen Lebensqualität.

Durchgeführt wurde jeweils eine

- **Querschnittuntersuchung** in 4 Flughäfen: Frankfurt, Stuttgart, Köln/Bonn, Berlin
- **Längsschnittuntersuchung** in Frankfurt 2011 und nach Eröffnung der neuen Landebahn und Einführung der Kernruhezeit (23-5 Uhr) 2012 und 2013

Abb. 17 Studienregion Frankfurt, Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ (Guski, 2015)



Teilnehmer: Die Teilnehmer wurden durch Zufalls-Stichprobenziehung aus Daten der Einwohnermeldeämter ausgewählt - geschichtet nach Geräuschpegeln der jeweils interessierenden Verkehrsgeräusch-Quellenart (innerhalb jeder Geräuschpegelklasse Zufallsziehung erwachsener Personen). Die Ziehung erfolgte auf Grundlage der DES-Werte im Umfeld des Flughafens Frankfurt aus dem Jahr 2007, im Umfeld der anderen Flughäfen aus dem Jahr 2010. In den höher lärm-belasteten Gebieten wurden mehr Einwohner gefragt, um ausreichend viele Personen für eine Dosis-Wirkungskurve zu erhalten.

Abb. 18 Teilnehmer der Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ (NORAH Modul 1)

	2011	2012	2013
Frankfurt			
Panel	9.244	4.867	3.508
Straße		3.172	
Schiene		3.307	
Flug und Straße		342	
Flug und Schiene	292		
Nachrekrutierte			2.400
Berlin		5.548	
Köln			2.955
Stuttgart			1.979

Für alle Teilnehmer wurden adressgenau Verkehrsgeräuschpegel errechnet (Flug-, Schienen- und Straßenverkehr). Die Mittelungspegel für Fluglärm lagen in Frankfurt bei 42-49 dB (je nach Tageszeit). Sie waren in den Vergleichsflughäfen stets niedriger mit Ausnahme vom Flughafen Köln/Bonn. Dort zeigten sich mehr als 4 dB höhere Mittelungspegel als in Frankfurt. Die Maximalpegel waren in

Köln/Bonn in allen Zeitscheiben am höchsten. Die Mittelungspegel des Straßen- und Schienenverkehrs-lärms der Befragten lagen um ca. 10 dB, die Maximalpegel um ca. 20 dB höher als die entsprechenden Werte des Fluglärms.

Tab. 10 Verkehrslärmbelastung / Belästigung und Lebensqualität: Mittel-, Minimal- und Maximalpegel zu verschiedenen Tageszeiten sowie Teilnehmer in den 4 Studienregionen (NORAH Modul 1)

Mittelungspegel	Standort; Teilnehmer	Geräuschpegel		
		Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
Luftverkehr				
$L_{pAeq, 24\ h}$	Frankfurt 2011	47,8	35,8	61,0
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=9.244	49,1	36,6	62,2
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		41,9	≤ 35,0	56,7
$L_{pAeq, 24\ h}$	Frankfurt 2013	47,5	≤ 35,0	60,3
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=3.508	48,6	35,9	61,7
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		41,6	≤ 35,0	54,6
$L_{pAeq, 24\ h}$	Berlin 2012	42,9	≤ 35,0	59,3
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=5.548	43,9	≤ 35,0	60,6
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		39,8	≤ 35,0	54,7
$L_{pAeq, 24\ h}$	Köln 2013	46,5	≤ 35,0	72,6
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=2.955	46,4	≤ 35,0	74,4
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		46,3	≤ 35,0	65,7
$L_{pAeq, 24\ h}$	Stuttgart 2013	43,9	≤ 35,0	61,0
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=1.979	45,2	≤ 35,0	62,4
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		38,8	≤ 35,0	53,8
Straßenverkehr				
$L_{pAeq, 24\ h}$	Frankfurt	57,4	≤ 35,0	81,7
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=3.172	59,6	36,5	83,3
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		50,9	≤ 35,0	73,4
Schieneverkehr				
$L_{pAeq, 24\ h}$	Frankfurt	58,3	≤ 35,0	81,8
$L_{pAeq, 6-22\ h}$	n=3.307	57,8	≤ 35,0	81,3
$L_{pAeq, 22-6\ h}$		58,8	≤ 35,0	82,6

Die Befragungen erfolgten telefonisch und online. Abgefragt wurden als abhängige Variablen der Verkehrslärmreaktion:

- Lärmbelastigung in den letzten 12 Monaten (5-stufige Skala von 1 überhaupt nicht bis 5 äußerst belästigt/gestört)
- lärmbedingte Schlafstörungen (5-stufige Skala von 1 überhaupt nicht bis 5 äußerst gestört)

- gesundheitsbezogene körperliche und psychische Lebensqualität (erfragt mit dem SF8-Fragebogen, einer Kurzform des SF-36-Fragebogens)
- Störungen der Aktivität am Tag, z.B. Kommunikation (innen, außen), Konzentration (innen und außen) (5-stufige Skala von 1 überhaupt nicht bis 5 äußerst gestört)
- psycho-vegetative Störungen wurden mit 3 Items erfasst (Lärm führt dazu, dass man sich erschrickt; macht einen nervös; führt zu Kopfschmerzen) (5-stufige Skala von 1 überhaupt nicht bis 5 äußerst gestört)
- Zufriedenheit mit der Wohnung/dem Haus und mit der Wohngegend
- sowie die allgemeine Schlafqualität (ohne Lärmbezug) in den letzten 4 Wochen.

Als potenzielle und situative Co-Determinanten wurden erfasst:

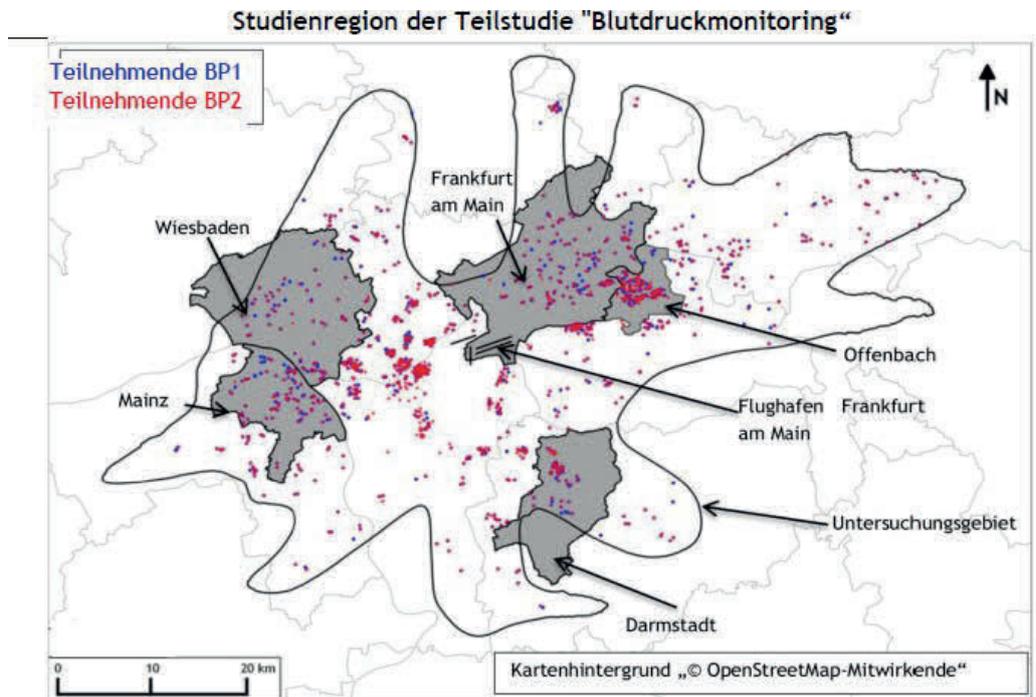
- Einstellung zu Straßen-, Schienen- und Flugverkehr (Beurteilung der Attribute „nützlich“, „gefährlich“, „bequem“ und „schädlich für die Umwelt“ (jeweils 5-stufige Intensitätsskala von 1 nicht bis 5 sehr)
- Erwartungen zur Entwicklung des Flugverkehrs und seinen Folgen
- Erwartungen zum (künftigen) Flughafenbetrieb (4 Items; 5-stufige Skala von 1 stimme nicht zu bis 5 stimme sehr zu)
- Vertrauen in das Bemühen von „Lärmverantwortlichen“
- Fairness (10 Items)
- Lärmbewältigungsvermögen (6 Items)
- Lärmempfindlichkeit
- Gesundheitsbezogene Risikofaktoren (körperliche Aktivität, Rauchverhalten, Alkoholkonsum)
- Wohnbedingungen, Fensterart und -stellung, Schallschutzmaßnahmen
- Verkehrslärmexposition durch eine oder mehrere andere Quellen
- Soziodemographie (Alter, Geschlecht, Migrationshintergrund, Familienstand, Haushaltsgröße, Bildung, Erwerbstätigkeit, berufliche Position, Haushaltsnettoeinkommen)

Modul 2: Blutdruckmonitoring

Ziel war die Untersuchung des Blutdrucks in Abhängigkeit von der Verkehrslärmbelastung (Flug, Straße, Schiene) in den vorangegangenen 12 Monaten. Darüber hinaus sollte der Einfluß der Verkehrsgeräuschbelastung auf das kardiovaskuläre Gesamtrisiko untersucht werden.

Teilnehmer: Stichprobenziehung zunächst befragter Personen aus der Belästigungsstudie (Modul 1); zusätzlich weitere Personen aus dem Populationsdatensatz von 2007 verschnitten mit adressgenauen Fluglärmpegeln aus dem Bezugsjahr 2007. Insgesamt wurden so 3.272 Personen für die Untersuchungsteilnahme rekrutiert in verschiedenen Ziehungen: Teilnahmebereitschaft 45,8% der aus dem Modul 1 gezogenen Teilstichprobe 1 und 52,3% der ebenfalls aus Modul 1 gezogenen Teilstichprobe 2. Für alle Teilnehmer wurde die Verkehrsgeräuschbelastung (Flug, Straße, Schiene) für die der Untersuchung jeweils vorangegangenen 12 Monate berechnet.

Abb. 19 Verteilung der Untersuchungspersonen in der Teilstudie Blutdruckmonitoring im Rhein-Main Gebiet



BP1 ist die erste Erhebungswelle, BP2 eine Folge-Untersuchung nach 12 Monaten eines Teils der Teilnehmenden aus BP1.

Methode: Erwachsene Personen (ab 18 J), ausführliche Anamnese in der Wohnung der Teilnehmer incl. Medikamentenanamnese (überprüft durch In-Augenscheinahme der Medikamente), nach detaillierter Einführung führten die Probanden täglich Selbstmessungen am Morgen nach dem Aufstehen und am Abend vor dem zu-Bett-Gehen über drei Wochen mit automatischen Geräten durch. Die Ergebnisse der Blutdruck- und Herzfrequenz-Werte wurden telemetrisch direkt über Handy übertragen und parallel durch die Teilnehmer selbst in Listen protokolliert, sodass eine Datenvalidierung möglich war.

Die Auswertungen erfolgten bezogen auf kombinierten (Flug-, Straßen- und Schienenpegel) Verkehrslärm adressgenau (Abend- und Nachtpegel (18-6 Uhr) der jeweils vorangegangenen 12 Monate). Für die Bewertung wurde der morgendliche Blutdruck zugrundegelegt, resp. beide Blutdruckwerte für den PROCAM Score, der das Herzinfarkttrisiko abbildet. „Der PROCAM Schnelltest ist ein sehr einfaches Punktesystem zur Vorauswahl von herzinferktgefährdeten Personen, der keine ärztliche Untersuchung erfordert. Es berücksichtigt Geschlecht, Alter, Körpergewicht und -größe beziehungsweise den Taillenumfang, ob man raucht, ob man an Bluthochdruck oder Diabetes mellitus leidet, und ob ein enger Verwandter frühzeitig einen Herzinfarkt erlitten hat (...). Bei einem Punktwert von 61 bei Männern und 64 bei Frauen überschreitet das Risiko, innerhalb der nächsten zehn Jahre einen Herzinfarkt zu erleiden, 10 %“ (Quelle: Assmann, 2005).

Confounder: Als Confounder wurden betrachtet: Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status, Rauchen, körperliche Aktivität, Alkoholkonsum und Taille-Hüft-Verhältnis.

Modul 2: Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung:

Eingeschlossen wurden 1.026.658 Versicherte in der Region > 40 Jahre mit Daten von drei großen Krankenkassen, entsprechend 23,3% der über 40-jährigen Bevölkerung in der Studienregion

(Regierungsbezirk Darmstadt, Städte Mainz und Worms sowie Landkreise Mainz-Bingen und Alzey-Worms). Betrachtet wurden neu diagnostizierte Erkrankungen der Berichtsjahre 2005-2010: Herzinfarkt (n=19.623), Schlaganfall (n=25.495), Herzinsuffizienz (n=104.145), depressive Episoden (n=77.295) und Brustkrebs bei Frauen (n=6.643). Berücksichtigt wurden dabei sowohl ambulante als auch stationäre Diagnosen (d.h. ambulante Behandlungen und Krankenhausaufnahmen).

Für alle untersuchten Versicherten wurde die Exposition durch Straßen-, Schienen- und Flugverkehr adressgenau mit 30 akustischen Werten für die letzten 15 Jahre (1996-2010) berechnet. Die statistischen Berechnungen erfolgten bezogen auf die verschiedenen Geräuschbelastungen (Flug, Straße, Schiene) mit kontinuierlichen Größen, sowie in 5 dB-Klassen, Kontrollgebiet <40 dB. Die Berechnung der Odds Ratios erfolgten bezogen auf die verschiedenen Geräuschbelastungen adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung und Beruf (aus dem Tätigkeitskennzeichen) und regionaler SGB II-Quote (Grundsicherungsquote nach Sozialgesetzbuch II).

Zusätzlich fand eine vertiefende Befragung einer Stichprobe von Fällen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie von Kontrollpersonen (8.540 Teilnehmer) statt, entsprechend gesamt 5,5% der angeschriebenen 154.068 Versicherten. Hier wurden weitere potenzielle Confounder erfragt, u.a. Bildung, Beruf, Einkommen, Tabakkonsum, Größe, Gewicht, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Arbeitslärm, körperliche Aktivität. Darüber hinaus wurden weitere Informationen erhoben (z.B. Lage des Schlafzimmers zur Straße oder zu einer Bahnstrecke, Fensterstellung im Schlafzimmer). Somit konnten die Ergebnisse einmal nach den Confoundern Alter und Geschlecht individuell sowie nach dem regionalen Sozialstatus und zum anderen adjustiert nach umfangreich erhobenen individuellen Confoundern berechnet werden.

Modul 2: Schlaf

Es ist eine quasi-experimentelle Untersuchung, die im Rahmen einer Feldstudie die Auswirkungen nächtlichen Fluglärms auf den Schlaf gesunder Personen untersucht. Die Probandengewinnung in den entsprechenden Regionen erfolgte über persönliche Anschreiben, Anzeigen, Medien etc. Untersucht wurden schlafgesunde Erwachsene; herangezogen wurde eine Vielzahl von Ausschlusskriterien (u.a. Medikamentenkonsum, Drogen, Alkoholabusus, Schwerhörigkeit, Schichtarbeit, Kleinkinder in der Wohnung, Nutzung von Hörstöpseln). Die Methode war identisch mit einer 2001 im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn durchgeführten Untersuchung zur Schlafqualität, um die Vergleichbarkeit dieser Studie zu gewährleisten.

Tab. 11 Durchführung der Schlafstudie (NORAH Modul 2)

Jahr	Untersuchungszeiten:	Untersuchte Personen	Methoden	Bettzeitgruppen
2011	25. Juli – 8. Oktober	41	Polysomnographie, Morgendl. Befragung	Bettzeit 1: 22-22.30 bis 6-6:30
2012	21. Mai- 09. November	83, darunter 41 identisch mit 2011	Polysomnographie, Vegetative Methode, Morgendl. Befragung	Bettzeit 1: 22-22.30 Uhr bis 6-6:30 Uhr und
2013	17. Juni-28. November	187	Vegetative Methode, Morgendl. Befragung	Bettzeit 2: 23-23:30 Uhr bis 7:7:30 Uhr.

Untersuchungsmethoden

- Polysomnographie: Hirnstromkurve EEG, Muskelspannung, EMG, Sauerstoffsättigung des Blutes, Augen-, Atem- und Herzaktivitäten (EKG) sowie Bewegungsaufnehmer für Körperbewegungen.

- Vegetativ-motorische Körperreaktionen: EKG und Körperbewegung.
- Morgendliche Befragung zur Schlafqualität, Müdigkeit etc.
- Schallpegelmessung im Innenraum am Ohr des Schlafers; Pegelstärke, Anstiegssteilheit, Kontrolle durch Abhören der Tonbänder, dann Zuordnung zu Art des Lärms (Flugzeug, Straße, Schnarchen etc.). Vergleich mit Außenlärm parallel gemessen vor dem Haus.

Als „fluglärmassoziierte Aufwachreaktion“ wurde eine Aufwachreaktion bewertet, die bis 90 sec. nach Beginn eines Flugereignisses eintrat (Erfahrungswerte aus früheren Studien).

Modul 3, Kinder

In der NORAH Studie wurden im Frühjahr 2012 die Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf Leseleistungen und sprachliche Vorläuferfertigkeiten des Lesens sowie auf die Lebensqualität bei Grundschulkindern im Rhein-Main-Gebiet untersucht. Die Leseleistung wurde anhand eines Schulleistungstests für Grundschüler mit deutscher Unterrichtssprache erfasst. Die sprachlichen Vorläuferfertigkeiten des Lesens umfassten Sprachwahrnehmung, phonologisches Arbeitsgedächtnis, phonologische Bewusstheit, schnellen Abruf von Wortrepräsentationen sowie auditives Gedächtnis.

- **Leseleistung:** Die Leseleistung der Kinder wurde anhand des Leseverständnistests für Erst- bis Sechstklässler (ELFE 1-6, Lenhard & Schneider, 2006), einem für Grundschulkindern standardisierten und normierten Schulleistungstest, erhoben. Leseverständnis und Lesegeschwindigkeit lassen sich mit diesem Papier- und Bleistiftverfahren auf drei verschiedenen Ebenen erfassen: Wortverständnis (Dekodieren, Synthese), Satzverständnis (sinnentnehmendes Lesen, syntaktische Fähigkeiten) und Textverständnis (Auffinden von Informationen, satzübergreifendes Lesen, schlussfolgerndes Denken). Beim Wortverständnistest (72 Items) sollen die Kinder das zu einem Bild passende Schriftwort aus 4 Alternativen auswählen und unterstreichen. Beim Satzverständnistest (28 Items) soll aus fünf Alternativen das in den Satz passende Wort markiert werden. Beim Textverständnis (20 Items) sollen die Kinder kurze Textabschnitte lesen und jeweils ein- bis zwei Fragen durch Ankreuzen der richtigen Antwort aus vier Antwortalternativen beantworten.
- **Auditives Gedächtnis:** Zur Erfassung des auditiven Gedächtnisses wurde der Untertest „Gedächtnis auditiv“ aus den „Intelligenz- und Entwicklungsskalen für Kinder von 5-10 Jahren“ (IDS, Grob, Meyer & Hagmann-von Arx, 2009) genutzt. Die Aufgabe des Kindes ist es dabei, eine vom Testleiter zu einem früheren Zeitpunkt vorgelesene Geschichte möglichst vollständig nachzuerzählen.
- **Nichtsprachliche Fähigkeiten (Puzzle):** Die nichtsprachlichen Fähigkeiten wurden anhand einer Kurzfassung mit 18 Items des Coloured Progressive Matrices (CPM; Bulheller & Häcker, 2002) erhoben. Den Kindern wurden unvollständige farbige geometrische Figuren oder Muster präsentiert, die mit einem „Puzzleteil“ aus 6 Antwortalternativen ergänzt werden sollten.
- **Phonologisches Kurzzeitgedächtnis:** Der Test „Pseudowörter merken“ (Klatte et al., 2010) diente der Erfassung des phonologischen Kurzzeitgedächtnisses. 24 Pseudowortpaare wurden mittels des Präsentationslaptops und Kopfhörern präsentiert. Ein Pseudowort jedes Paares wurde von einer weiblichen Stimme gesprochen, das andere von einer männlichen Stimme. Die Aufgabe der Kinder war es zu entscheiden, ob die beiden Pseudowörter eines Paares gleich (z.B. Eulafing – Eulafing) oder verschieden sind (z.B. Krefensal – Trefensal).
- **Phonologische Bewusstheit:** Die phonologische Bewusstheit wurde anhand einer Aufgabe zur Lautklassifikation erfasst. Bei dieser Odd-One-Out-Aufgabe (vgl. Bradley & Bryant, 1983) wurden den Kindern drei einsilbige Pseudowörter (CVC-Silben, z.B. baff – beck – demm) dargeboten und die Aufgabe war es, dasjenige Pseudowort zu erkennen, welches sich bezüglich des Anlauts von den anderen beiden unterscheidet (Antwort: demm).

- **Sprachwahrnehmung:** Den Kindern wurden jeweils 3 Bilder von leicht benennbaren Objekten präsentiert, deren verbale Bezeichnungen sich klanglich ähneln (z.B. Fee – Reh – See). Ein mit einem sprachlichen Störgeräusch (Stimmengewirr) unterlegtes Wort wurde dazu akustisch präsentiert (z.B. „Reh“). Die Aufgabe bestand darin, das dem Wort entsprechende Bild auf dem Antwortbogen anzukreuzen (vgl. Klatt et al., 2010a; Klatt et al., 2010b, Steinbrink & Klatt 2008).
- **Schneller Abruf von Wortpräsentationen (Bildertest):** Der schnelle Abruf von Wortrepräsentationen wurde anhand eines „Durchstreichtests“ mit phonologisch definierten Zielzeichen erfasst. Im Antwortbogen waren 96 Bilder leicht benennbare Objekte abgedruckt (6 Reihen mit jeweils 16 Bildern). Die Aufgabe der Kinder war es, so schnell und so korrekt wie möglich diejenigen Bilder, deren verbale Bezeichnungen mit dem Laut /b/beginnen (z.B. Ball, Blume, Brille) durchzustreichen und unter jedes andere Bild einen Punkt zu machen.

Tab. 12 Übersicht über die Testverfahren (Klatte K., Bergström K., Spilski J., Mayerl J., Meis M.)

Funktionsbereiche	Testverfahren
I Komplexe Leistungen	
Lesen	Standardisierter und normierter Lesetest für Grundschul Kinder: Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler (ELFE 1-6, Lenhard und Schneider, 2006)
Auditives Gedächtnis	Für Gruppentestung adaptierte, modifizierte Version des Untertests „Gedächtnis auditiv“ aus „Intelligenz- und Entwicklungsskalen für Kinder von 5-10 Jahren (IDS, Grob. Meyer Hagmann von Arx, 2009)
Nichtsprachliche Fähigkeiten	Ravens Coloured Progressive Matrices (CPM); Kurzfassung (Bulheller und Häcker, 2002)
II Phonologische Informationsverarbeitung/Vorläuferfertigkeiten	
Phonologisches Kurzzeitgedächtnis	Pseudowörter merken (Klatte et al., 2007, 2010)
Phonologische Bewusstheit	Laute kategorisieren, Odd One Out (Klatte et al., 2007, 2010)
Sprachwahrnehmung	Wortverständnis im Störgeräusch (Bild zu Wort Zuordnung) (Klatte et al., 2010 a und b, Steinbrink und Klatt, 2008)
Schneller Abruf von Wortrepräsentationen	Bildertest: Durchstreichtest mit phonologisch definierten Zielzeichen

Im Frühjahr 2012 wurden die Leistungserhebungen in 85 Schulklassen aus 29 unterschiedlich fluglärm-belasteten Grundschulen im Rhein-Main-Gebiet sowie Befragungen der Kinder, Eltern und Lehrkräfte durchgeführt. Die Befragungen der Kinder und die Fragebögen für die Eltern bezogen sich auf das schulische, körperliche und psychische Wohlbefinden sowie auf schulbezogene und wohnort-bezogene Belästigung durch Lärm. Nicht-fluglärmbezogene Einflussfaktoren, insbesondere Sozialstatus, Migrationshintergrund und Deutschkenntnisse der Kinder sowie die Belastung durch andere Lärmquellen (Straßen- und Schienenverkehr, Raumakustik der Klassenräume) wurden kontrolliert.

Die Kinder befanden sich zum Zeitpunkt der Erhebung am Ende der zweiten Klassenstufe. Für alle Kinder wurden die Fluglärmpegel an den Schulstandorten sowie addressgenau an den Wohnorten für den Zeitraum von 12 Monaten vor Beginn der Datenerhebung bestimmt. Die Dauerschallpegel an den Schulvormittagen lagen im Mittel bei 49,5 dB, mit einem Median von 50,6 dB und einem Range von 39 bis 59 dB. In die Analysen gingen Datensätze von 1.243 Kindern ein. Aufgrund der hierarchischen Datenstruktur erfolgte die statistische Auswertung der Daten anhand von Mehrebenenanalysen, wobei die Fluglärmpegel als kontinuierliche Prädiktorvariablen einbezogen wurden. In Mehrebenenanalysen

werden Einflussfaktoren auf unterschiedlichen Hierarchieebenen separat berücksichtigt (Level 1: Individuen (Kinder), z.B. Fluglärm am Wohnort, elterlicher Sozialstatus; Level 2: Kontext (Schulklassen), z.B. Fluglärm am Schulstandort, Klassenzusammensetzung). Die Mehrebenenanalysen wurden ergänzt durch Gruppenvergleiche zwischen gering-, mittel- und hochexponierten Kindern unter Einbeziehung der Fragebogenangaben von Lehrkräften und Eltern (Klatte K., Bergström K., Spilski J., Mayerl J., Meis M.).

Tab. 13 Veröffentlichungen und Berichte der NORAH Studie

Jahr	Autoren	Endbericht, Modul, Teilstudie, Zeitschrift	Teilnehmer, Alter	Fragestellung	Ergebnisse
2015	Schreckenberg et al.	Band 3, Modul 1	9.244 Erwachsene, älter als 18 Jahre	Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen dem Flug-, Straßen- und Schienenlärmbelastung am Wohnort und der Belästigung sowie der Lebensqualität. Längsschnittuntersuchung (Fluglärm) im Rhein-Main-Gebiet; Querschnittvergleich (Fluglärm) mit anderen Flughäfen	Die Belästigung durch Fluglärm hat in allen untersuchten Regionen im Vergleich zu früheren Studien bei gleichem Geräuschniveau zugenommen. Sie war deutlich stärker als durch vergleichbaren Straßen- oder Schienenlärm und wurde stark durch den Fluglärm beeinflusst. – Die psychische und physische Lebensqualität war enger mit der Belästigung als mit der Belastung (Fluglärm) assoziiert.
2016	Schreckenberg et al.	DAGA	Siehe oben	Unterschiede bei der Wahrnehmung von Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärm	Siehe oben
2015	Seidler et al.	Band 6, Modul 2 , Teilstudie 1	1.026.658 Erwachsene, ab 40 Jahre	Einfluss von Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm auf die Neuerkrankungen und Mortalität an Herz-Kreislauferkrankungen, psychischen Erkrankungen und Brustkrebs	Herzinfarkte, Schlaganfälle und Herzinsuffizienz waren enger mit Straßen- und Schienenverkehrslärm, nicht mit Fluglärm assoziiert. Depressive Episoden waren am stärksten mit Fluglärm assoziiert. Brustkrebs war mit allen Lärmarten am geringsten assoziiert (nicht sign.).
2015	Seidler et al.	Deutsches Ärzteblatt, 2016	19.632 Patienten mit Herzinfarkt, 834.734 Kontrollen	Expositios-Wirkungsbeziehung zwischen Flug- (Straßen- und Schienenverkehrslärm) und Herzinfarkt	Risikoanstieg bei Straßen- und Schienenverkehrslärm, nicht bei Fluglärm. Fluglärmpegel ab 60dB war bei den bis 2014/2015 Verstorbenen mit erhöhtem Risiko verbunden.
2016	Seidler et al.	Int J Hyg Env Health	104.145 mit Herzins./Blut hochdruck 654.172 Kontrollen	Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und Herzinsuffizienz sowie Bluthochdruck	Lineare Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Herzinsuffizienz und Bluthochdruck für Fluglärm (1,6% für 10dB Zunahme), Straßen- (2,4%) und Schienenlärm (3,1%); grundsätzlich lagen die Risiken für Bluthochdruck über denen für Herzinsuffizienz

2015	Eikmann et al.	Band 5, Modul 2 , Teilstudie 2	1.375 Erwachsene, älter als 18 Jahre	Zusammenhang zwischen Fluglärm (Verkehrslärm) und dem mittleren Blutdruck oder anderen kardiologischen Parametern?	Kein signifikanter Zusammenhang zwischen Verkehrslärm (Flug-, Straße-, Schienen-) und den Zielgrößen (Blutdruck, Herzfrequenz, Bluthochdruck, 10-Jahres Herzinfarktrisiko) Die Ergebnisse wurden nach einem Jahr bestätigt.
2015	Müller et al.	Band 4, Modul 2 , Teilstudie 3	202 Erwachsene, zwischen 18 und 78 Jahren	Einfluß der Einführung der Kernruhezeit (2011) auf die Schlafqualität? Sind Daten eines Flughafens (Köln/Bonn) auf andere Flughäfen (Frankfurt) übertragbar? Entwicklung einer einfacheren Methode zur objektiven Untersuchung der Schlafqualität: Vegetativ-motorischen Reaktion (VMR)	Nach Einführung der Kernruhezeit keine Änderung der polysomnographisch gemessenen Gesamtschlafdauer, Einschlafzeit, Wachdauer und –anteil etc. jedoch Abnahme der nächtlichen Aufwachreaktionen. In der subjektiven Bewertung der Teilnehmer Verschlechterung der Schlafqualität und vermehrte Müdigkeit. - Ergebnisse sind nicht auf andere Standorte übertragbar. Die VMR scheinen ein probates und empfindliches Maß für lärm-induzierte Schlafstörungen zu sein.
2014	Klatte et al.	Band 1, Modul 3	1.243 Kinder, Beginn der Untersuchung 2. Klasse	Einfluss von Fluglärm auf kognitive Leistungen (Leseleistung), Lebensqualität, Belästigung und Erkrankungsrisiken bei Zweitklässlern	Es zeigten sich beeinträchtigende Effekte von Fluglärm auf den Leseerwerb, die in etwa einer Verzögerung von einem Monat bei 10dB Mehrbelastung entsprechen. Beeinträchtigende Effekte der sog. Vorläuferfertigkeiten konnten nicht festgestellt werden. Die Lebensqualität der Kinder war grundsätzlich hoch. Es zeigten sich signifikant negative Effekte durch Fluglärm. Die Befragung der Lehrer gab Hinweise darauf, dass Unterbrechungen des Unterrichts für den Leserückstand verantwortlich sein könnten.
2016	Klatte et al.	Environment und Behavior	Siehe oben	Siehe oben	Siehe oben

RANCH-Studie (Road traffic and aircraft noise exposure and children´s cognition and health: exposure-effect relationships and combined effects)

Im Rahmen der multizentrischen **RANCH-Studie** wurde folgenden Fragen nachgegangen:

- Einfluß von Flug- und Straßenverkehrslärm auf die Belästigung von Kindern (Stansfeld et al., 2005)
- Einfluß von Flug- und Straßenverkehrslärm auf die Gesundheit von Kindern
- Einfluß von Flug- und Straßenverkehrslärm auf die kognitive Entwicklung von Kindern - Querschnitt- und Längsschnittstudie (Stansfeld et al., 2005; Clark et al., 2006)
- Einfluß von Flug- und Straßenverkehrslärm auf den Blutdruck von Kindern (van Kempen et al., 2006)
- Haben verkehrsbedingte Luftschadstoffe einen moderierenden Effekt auf die untersuchten Wirkungen zur Kognition?

In den Jahren 2001-2003 wurden insgesamt 2.844 Kinder im Alter von 9-10 Jahren aus 89 Schulen im Umfeld der Flughäfen London Heathrow, Amsterdam Schiphol und Madrid Barajas untersucht. In jedem Land wurden Schulen „gematcht“ nach sozioökonomischem Status ausgesucht. In England und Spanien wurden dabei die Kriterien „kostenlose Schulspeisung“ und „Landessprache als Muttersprache“ gewählt, in Holland wurde der Armuts-Anteil und der Anteil Nicht-Europäer im Wohnumfeld genutzt.

In allen drei Ländern wurde die Fluglärmbelastung - Äquivalenzpegel 7-23 Uhr dBA - an den Schulen den nationalen Fluglärmkarten entnommen. In Amsterdam wurde darüber hinaus die Straßenlärmbelastung mittels Modellrechnungen errechnet. In London und Madrid wurden zusätzlich zu den Modellrechnungen auch Lärm-Messungen im Außenbereich der Schulen vorgenommen. Die Fluglärmbelastung an den Schulen reichte von 32 bis 77 dB Laeq in 16 Stunden und die Straßenverkehrsbelastung von 31 bis 71 dB Laeq in 16 Stunden.

Schulen mit anderen dominanten Lärmquellen als Flug- oder Straßenverkehrslärm wurden ausgeschlossen (Matheson et al., 2010).

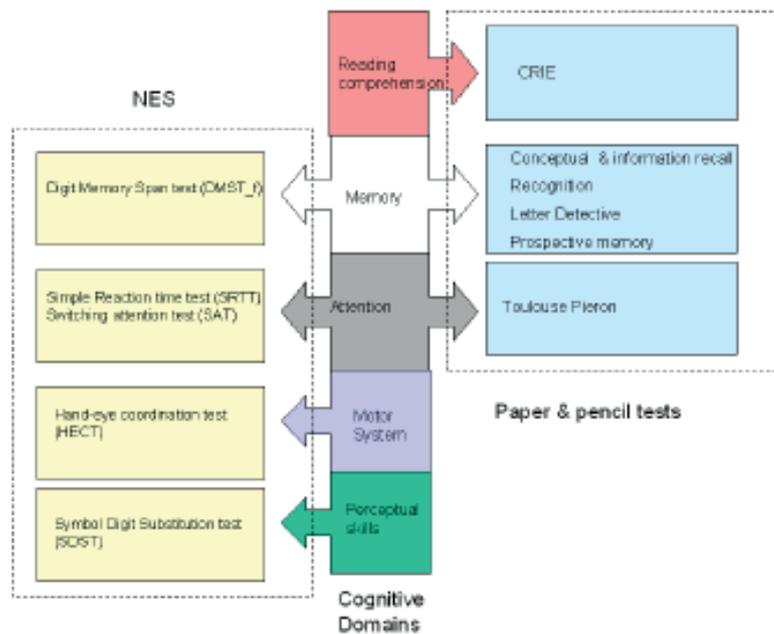
Bei der Nachuntersuchung in London nach 6 Jahren, wurden neue Fluglärmkonturen aus dem Jahr 2007 (Juli-September) an 27 der ursprünglich 29 Schulen genutzt und keine erneuten Lärm-messungen vorgenommen.

Folgende Untersuchungsmethoden wurden angewandt:

- **Leseverständnis:** standardisierte nationale Tests; England Suffolk Reading Scale 2, ein 30 min Testverfahren mit 86 Items für die 8-11 -Jährigen. Für die Nachuntersuchung nach 6 Jahren (Clark et al., 2013) der Suffolk Reading Scale 3, mit 76 Items für die 11-15 -Jährigen
Holland: CITO Lesetest mit 42 Items;
Spanien Evaluación Comprensión Lectora, mit 27 Items;
- **Gedächtnis** (Kurz- und Langzeit, Abruf und Wiedererkennung)
 - o Episodisches Erinnern: Children´s Memory Scale ein weitverbreitetes, validiertes Instrument; konkret wurden zwei Geschichten aus diesem Instrument über eine Audio CD vorgelesen (jeweils 86 bzw. 76 Wörter) und die Kinder mussten nach 30 Minuten mit anderen Aufgaben („delayed“) soviel und so genau wie möglich auf 4 zu den Texten gestellten Fragen antworten. Die Antworten wurden nach ihrer Detail-Korrektheit bewertet.

- Delayed recognition: nach 30 min; es wurden zusätzlich 15 Fragen vorgelesen, die am PC mit der Ja- oder Nein-Taste zu beantworten waren.
- prospektives Erinnern nach Shield und Dockrell: 2 Testverfahren: Die Kinder wurden instruiert, ihre Initialen auf bestimmte folgende Seiten zu schreiben, die in der Folge zu bearbeiten waren; d.h. sie mußten sich an diese Aufgabe erinnern, wenn sie bei den entsprechenden Seiten angelangt waren.
- **Aufmerksamkeitstest** nach Toulouse Pieron
- Fragebögen nach selbst angegebenem Gesundheitszustand, psychischer Gesundheit, Stress
- **Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ)**, weitverbreiteter Test (psychometrisch validiert) mit 25 Items zur psychologischen Morbidität, einschließlich Skalen zu emotionalen Problemen, Hyperaktivität, sog. Peer-Problemen und Sozialverhalten; bei Ersterhebung von den Eltern, bei der Nachbefragung im Alter von 15-16 Jahren von den Kindern/ Jugendlichen selbst beantwortet.
- **Allgemeine Gesundheit:** Fragebogen zur Einschätzung des Gesundheitszustands an Kindern selbst und Eltern; Fragen mit 5-stufiger Likert-Skala (Stansfeld et al. 2005)
- **Blutdruckmessung:** automatische Messung, Mittelwert von drei aufeinanderfolgenden Messungen
- **Neurobehavioural Evaluation System, NES**, eine Computertest-Batterie; 30 min am PC mit Joystick (Van Kempen et al., 2010);
 - Einfache Reaktionszeit: Proband muss einen Knopf schnellstmöglich drücken, wenn ein roter Knopf auf dem Bildschirm erscheint.
 - Wechselnde Aufmerksamkeits-Test (switching attention), hier mussten die Teilnehmer auf eine Reihe Aufgaben mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad reagieren. Das Erscheinen zum Beispiel eines Kästchens (Block) musste mit einem Knopfdruck beantwortet werden. Im Weiteren sollte ein Pfeil, der in eine Richtung zeigt, mit der richtigen Richtung angegeben werden. In der schwierigsten Aufgabe wurde direkt vor dem jeweiligen Stimulus angegeben, ob entweder nach der Seite oder der Richtung gefragt ist. Die Teilnehmer mussten dann entscheiden, auf welcher Seite der Pfeil ist und in welche Richtung er zeigt.
 - Hand-Augen-Koordinationstest (HECT), hier sollten die Teilnehmer mit einem Joystick eine Linie bzw. ein Zick-Zack Muster auf dem Computer nachzeichnen.
 - Symbol-Digit-Substitution Test (SDST), hier musste ein Code aus Ziffern und Bildern entschlüsselt werden.
 - Digit Memory Span Test, hier mussten die Probanden Ziffern und Buchstaben erinnern und angeben.

Abb. 20 Testverfahren RANCH (NES Computer - und Papier basiert) (Van Kempen et al., 2010)



- **Lärmbelastung** wurde erhoben mit einem Kinderfragebogen, ISO-standardisierte Fragen: Wenn Du an das letzte Jahr denkst: wenn Du in der Schule warst, wie sehr beeinträchtigt, stört oder nervt dich der Fluglärm? (5-stufige Antwortskala vorgegeben: überhaupt nicht, ein wenig, ziemlich, sehr, extrem).
- **Luftbelastung (London):** Für eine spätere Sekundäranalyse (Clark et al., 2012) wurden für die Gruppe der in England untersuchten Kinder Daten zur Luftbelastung – Straßenverkehrsbedingte NO₂-Belastung – (für jede Schule mittels eines Emissions-Dispersions-Modell) erhoben. Darin gehen für 6.000 Hauptstraßen in London Angaben zum Verkehrsaufkommen und –fluß im Stundenbezug ein. Diese Daten wurden in ein weiteres Modell eingespeist, mit Flugverkehrs- und meteorologischen Daten im Umfeld des Flughafens London Heathrow.

Als Confounder wurden betrachtet:

- o Alter der Kinder
- o Beschäftigungsstatus der Eltern (Teilzeit / Vollzeit / keine Arbeit)
- o Wohnungsdichte (> 1,5 Personen/Zimmer in England und > 2 Personen/Zimmer in Holland und Spanien)
- o Wohnungseigentum
- o chronische Krankheit des Kindes (z.B. Hyperaktivität, Asthma, Bronchitis, Ekzem, Epilepsie, Depression, Diabetes, Dyslexie)
- o Muttersprache zu Hause; Bildungsstand der Mutter
- o Bericht des Kindes über Unterstützung der Eltern bei den Schularbeiten der Kinder
- o 1-3fach Verglasung der Fenster im Klassenraum

Lärmbelastung: Die Fluglärmbelastung war im Mittel- und Maximalbereich in England und Holland vergleichbar. In Spanien war die mittlere Fluglärmbelastung an den untersuchten Schulen niedriger, die Maximalbelastung höher. In England wurde eine etwas niedrigere mittlere Straßenlärmbelastung im Vergleich zu Holland und Spanien festgestellt, während die maximale Straßenlärmbelastung in

England und Holland vergleichbar und etwas unterhalb der Maximalbelastung in Spanien lag. Die Fluglärmbelastung an den Wohnungen der Kinder war eng mit der Fluglärmbelastung an den Schulen korreliert; d.h. Kinder, die fluglärm-belastete Schulen besuchten, wohnten in der Regel auch in fluglärm-belasteten Wohnungen. Die Daten zur Belästigung, zum Leseverständnis, zur Gesundheit, zur Aufmerksamkeit etc. wurden nach 2 Modellen ausgewertet und adjustiert:

- Berücksichtigung von Alter und Geschlecht der Kinder, Land – und auch sozioökonomischer Status und Bildung der Mutter
- darüber hinaus auch Berücksichtigung von chronischen Erkrankungen des Kindes, Muttersprache in der Familie, elterliche Unterstützung bei den Schularbeiten der Kinder und Verglasung der Fenster im Klassenraum.

Weitere Einflussvariablen: In Spanien hatten zwei Drittel der Klassenraumfenster Einfach- und ein Drittel Doppelverglasung. In England war das Verhältnis etwa 60% zu 40%. In Holland waren jeweils über 40% einfach- und doppelverglast, und mehr als 10% der Klassenräume wiesen eine Dreifachverglasung auf. In England waren mehr als 20% der Eltern arbeitslos, damit lag die Arbeitslosenrate mehr als doppelt so hoch wie bei den Eltern der Teilnehmer in den anderen Ländern. Auch die Rate des Wohnens in Miete und anderer Muttersprache als der Landessprache war bei den Teilnehmern aus England deutlich höher als bei denen aus Holland und Spanien. Enge Wohnverhältnisse oder chronische Erkrankung der Kinder waren bei den Kindern aus England und Holland häufiger vorzufinden als bei den Kindern aus Spanien.

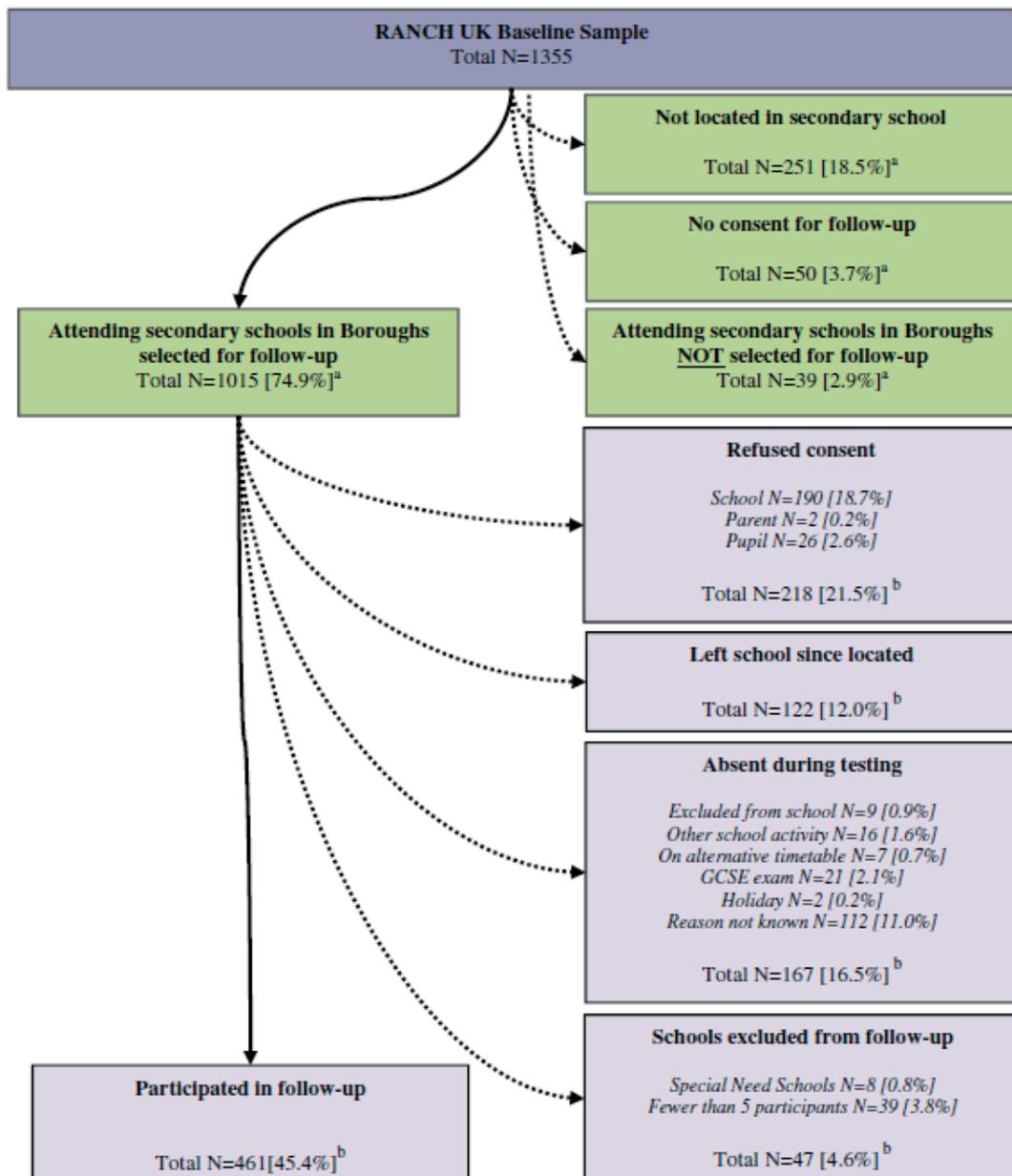
Tab. 12 RANCH-Studie – Kinder - Teilnehmer, Basisdaten zum familiären Hintergrund, zur Lärmbelastung und zur Fensterausstattung der Schulen (Stansfeld et al. 2005)

		alle	England	Niederlande	Spanien
Kinder	N	2844	1174	762	908
Kinder response	%	89	87	92	88
Eltern	N	2276	960	658	658
Eltern response	%	80	82	86	72
Familiärer Hintergrund					
Arbeitslos	%	15	23	7	11
enge Wohnverhältnisse	%	21	23	31	9
Mietwohnung	%	28	42	19	15
Nicht Landessprache	%	12	22	7	2
chronische Erkrankung	%	24	26	27	19
Lärmbelastung					
Fluglärm (mittel)	dBA (16h)	52	52	54	43
Fluglärm (min-max)	dBA	30-77	34-68	41-68	30-77
Straßenlärm (mittel)	dBA (16h)	51	48	53	53
Straßenlärm (min-max)	dBA	32-71	37-67	32-66	43-71
Ausstattung der Schule					
Einfachverglasung	%	56,2	58,6	45,5	66,7
Doppelverglasung	%	39,3	41,4	42,2	33,3
Dreifachverglasung	%	4,5	0	12,1	0

RANCH (Nachuntersuchung, England): Von 1.355 Kindern des ersten Untersuchungsdurchgangs gingen 1.015 (74,9%) auf weiterführende Schulen in der Region; davon stimmten 218 nicht der

Nachuntersuchung zu (190 die Schulen; 2 Eltern, 26 Kinder selbst). 122 hatten die Schule bis zum Untersuchungstermin verlassen. 167 waren am Tag der Testung nicht anwesend bzw. waren Schulen mit besonderem Förderbedarf (n=8 Kinder) oder Schulen mit weniger als 5 Kindern zur Nachuntersuchung aus logistischen Gründen ausgeschlossen (n=39 Kinder). Somit nahmen 461 Kinder/Jugendliche im Alter von 15-16 Jahren an der Nachuntersuchung teil, das entspricht 45,4% der erstuntersuchten Kinder (Clark C., Head J., Stansfeld S. 2013).

Abb. 21 Flow-Chart der Teilnehmer RANCH UK im Follow-up (Clark et al., 2013)



NB: ^a for tracing process % of 1355 – the whole baseline sample. ^b for participation process % of 1015 – sample eligible for follow-up.

Tab. 13 Veröffentlichungen und Berichte RANCH Studienprojekt

Publikationsjahr	Autoren, Zeitschrift	Teilnehmer	Fragestellung	Ergebnisse
2005	Stansfeld et al., Lancet	2.844 Kinder, 9-11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Flug- und Straßenverkehrsbelastung und Belästigung sowie kognitive Fähigkeiten und Gesundheit der Kinder	Sign. Zusammenhang zw. der Belästigung und Verkehrslärm; Fluglärm belästigt mehr als Straßenverkehrslärm; Fluglärm beeinträchtigt das Leseverständnis (insb. schwierige Aufgaben), jedoch nicht Aufmerksamkeit oder versch. Gedächtnisleistungen; Straßenverkehrslärm war mit einer Verbesserung von Gedächtnisleistungen assoziiert; Weder Flug- noch Straßenverkehrslärm waren mit der Aufmerksamkeit und der selbst angegebenen psychischen und physischen Gesundheit assoziiert.
2006	Clark et al., Am. J Epidemiol.	2.844 Kinder, 9-11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Flug- und Straßenverkehrsbelastung an der Schule und zu Hause sowie kognitive Fähigkeiten	Sowohl Fluglärm an der Schule als auch zu Hause waren sign. assoziiert mit abnehmendem Leseverständnis; nach Adjustierung für Fluglärm an der Schule kein zusätzl Effekt von Fluglärm zu Hause.
2006	Van Kempen et al., Occup Environ Med	853 Kinder, 9-11 Jahre; England, Holland	Flug- und Straßenverkehrsbelastung und Blutdruck sowie Stresshormone	Blutdruck: Ergebnisse bei Fluglärm nicht konsistent: sign. Einfluss in Holland bezogen auf Schule und Wohnung, nicht in England; abnehmende Blutdruckwerte bei zunehmender Straßenverkehrsbelastung an der Schule (nicht erklärbar).
2009	Van Kempen et al., J. Acoust Soc Am	2.844 Kinder, 9-11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Flug- und Straßenverkehrsbelastung und Belästigung	Starker Effekt der Fluglärmbelastung auf die Belästigung – sowohl an der Schule als auch an der Wohnung; vergleichbar in allen Ländern; bei > 55 dB waren Kinder weniger belästigt als ihre Eltern; Geringerer, in allen Ländern übereinstimmender Effekt des Straßenverkehrslärms an der Schule.
2009	Stansfeld et al., Journal of Environmental Psychology	2.844 Kinder, 9-10 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Parameter der mentalen Gesundheit und der Zusammenhang zu Flug- und Straßenverkehrslärm	Bei den mit dem SDQ abgebildeten Fragen zur mentalen Gesundheit (incl. Hyperaktivität, Verhaltensstörungen, Peer Problemen, Sozialverhalten und emotionalen Problemen) zeigten sich keine Zusammenhänge zum Verkehrslärm (Ausnahme: Hyperaktivität und

2010	Van Kempen et al., J Acoust Soc Am	2.844 Kinder, 9-11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam RANCH	Zusammenhang zwischen individuell empfundener Belästigung durch Lärm und Gesundheitsszustand, Blutdruck, kognitiven Leistungen (NES)	Fluglärm sowie Verhaltensstörungen und Straßenverkehrslärm). Der selbst angegebene Gesundheitszustand war mit der angegebenen Belästigung, nicht mit der Belastung assoziiert- auch nach Adjustierung der Belastung mit der Belästigung; es zeigten sich sign. Zusammenhänge zw. Belästigung und verschiedenen kognitiven Tests;
2010	Van Kempen et al., Environmental Health	553 Kinder, 9-11 Jahre, RANCH (Amsterdam)	Lärmexposition ($L_{Aeq\ 7-23\ Uhr}$) in Straßen- und Flugverkehr als Einflussfaktor auf kognitive Leistungen (Bildschirm-basiert, NES) und papiergestützt	Bildschirmbasierte Tests können bzgl. Aufmerksamkeit (Reaktions-schnelligkeit, Fähigkeit zwischen verschiedenen Aufgaben zu wechseln) papierbasierte Tests ergänzen; Lärmefekt bei komplexen, nicht bei einfachen Aufgaben
2010	Matheson et al., Noise and Health	2.844 Kinder, 9-11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam RANCH	Erinnerungsvermögen (episodic memory) erhoben in Papier-basierten Testungen und Einfluss durch Flug- und Straßenverkehrslärm	Negative Assoziation zw. Fluglärm und Wiedererkennen/Erinnern, positive Assoziation zwischen Straßenverkehrslärm und Informations-/Begriffserinnerung; Fluglärm kann einzelne Aspekte der Gedächtnisleistung beeinträchtigen.
2010	Stansfeld et al., Noise and Health	326 Kinder München Studie, 9-11 Jahre, 857 Kinder RANCH (London), 9-10 Jahre	Nächtliche Lärmexposition bzw. Schlafqualität als unabhängiger Einflussfaktor auf Leseverständnis, Erinnerung, Papier-basiertes Testverfahren	Nächtlicher Fluglärm hat keinen über den Verkehrslärm am Tage hinausgehenden Einfluss auf die kognitiven Leistungen der Kinder, Fehlerhäufigkeit bei Aufmerksamkeitstests (München) oder Leseverständnis (RANCH, London).
2012	Van Kempen et al., Environmental Research	553 Kinder, 9-11 Jahre, RANCH (Amsterdam)	Lärmexposition und Belastung durch Stickstoffdioxid; Ist Luftbelastung ein Einflussfaktor auf kognitive Leistungen (NES)?	Geringere Erinnerungsspanne bezogen auf NO_2 und mehr Fehler im SAT-Test (Switching attention) bei Verkehrslärm; aber: geringe Effekte; Interpretation schwierig, Zufallseffekte laut Autoren nicht auszuschließen

2012	Clark et al., American Journal of Epidemiology	960 Kinder, 9-10 Jahre, RANCH (London), 719 da- von mit Daten zur Luftbelastung am Schulort	Verändert Stickstoffdioxid (als unabhängiger Parameter) den Einfluß von Verkehrslärm auf die kognitiven Leistungen (Papier-basiert)? Hat die Luft- verschmutzung einen Einfluss auf kognitive Leistungen?	Insgesamt veränderte der Faktor Luftverschmutzung durch NO ₂ nicht den Einfluß von Fluglärm auf die kognitiven Leistungen von Grund- schulkindern.
2013	Clark et al., Journal of Environmental Psychology	461 Jugendliche, vorherige Teilnahme an RANCH (London), 15-16 Jahre, 6- Jahres Follow-up, Schulort in der Nähe von London Heathrow über gesamten Zeitraum	Langzeitverlauf, Follow-up 6 Jahre, Einfluss von Fluglärm auf Belästigung, Lese-Leistun- gen und Gesundheitspara- meter	Die Belästigung durch Fluglärm nimmt im Verlauf zu. Die Beein- trächtigung des Leseverständnisses ist im Verlauf nicht mehr signifikant nachweisbar. Es fand sich keine Assoziation zwischen Fluglärm und psychischer Gesundheit. Der Zusammenhang zwischen Hyperaktivität und Fluglärm zum Zeitpunkt 1 war im Follow-up nicht mehr nachweisbar.

Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Cadum E, Katsouyanni K, Velonakis M, Dudley ML, Marohn HD, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Vigna-Taglianti F, Pisani S, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Zachos I, Jäaup L. Annoyance due to aircraft noise has increased over the years - Results of the HYENA study. Environment International (2009) Nov;35(8): 1169-76.

Fragestellung:

Verkehrslärm (Flug- und Straßenverkehr) und Belästigung in Europa in den Jahren 2003-2005 im Vergleich mit den Jahren 1978-1991. Verändert sich die Belästigung im Laufe der Zeit?

Methode:

HYENA Studie. 4.861 Personen (2.404 Männer, 2.467 Frauen) im Alter von 45-70 Jahren, die länger als mindestens 5 Jahre im Umfeld von 6 großen europäischen Flughäfen gelebt haben (London-Heathrow, Berlin-Tegel, Amsterdam-Schiphol, Stockholm-Arlanda, Mailand-Malpensa, Athen-Elephtheros). Es wurde eine geschichtete Zufallsstichprobe durchgeführt, um möglichst alle Lärmklassen abbilden zu können. Es wurden umfangreiche Interviews in der Wohnung der Teilnehmer durchgeführt incl. Fragen zum Gesundheitszustand, Lebensstil-Faktoren, Persönlichkeitsfaktoren mit Lärmsensitivität und Einstellung zum Flughafen. Die Lärmbelastigung wurde mit der 11-Punkte ICBEN-Skala erfasst.

Die Expositions-Wirkungsbeziehung wurde erhoben mit einem Lärmmodell mit den Parametern für den äquivalenten Schalldruckpegel L_{day} 12h(7-19h), L_{night} 8h(23-7h) und $L_{evening}$ 4h(19-23h).

Durchführungszeitraum:

2003-2005. Die Lärmmodelle wurden entsprechend nationaler Guidelines im Jahr 2002 erhoben und den Adressen der Teilnehmer zugeordnet.

Confounder:

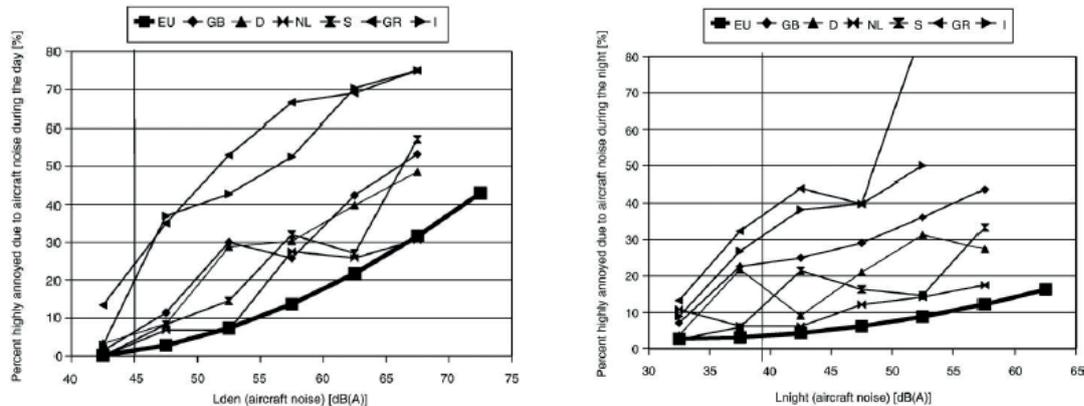
Als mögliche Confounder wurden betrachtet: Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand.

Ergebnisse:

In allen teilnehmenden Ländern zeigte sich eine stärkere Belästigung durch Fluglärm als in der Standard-EU-Kurve. Die Standard Kurve der EU basiert auf einer Publikation aus dem Jahre 1998. In diese flossen Analysen der Jahre 1978 und 1991 ein.

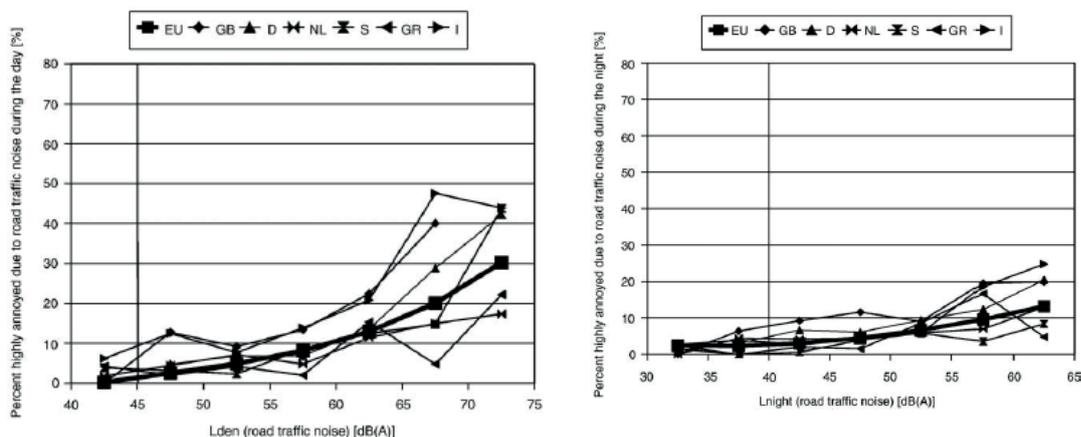
In allen untersuchten Ländern (GB Großbritannien; D Deutschland; NL Niederlande; S Schweden; GR Griechenland; I Italien) hatte die Belästigung bei den entsprechenden Lärmpegeln erheblich zugenommen. Insbesondere die Teilnehmer aus Griechenland und Italien (GR, I) waren deutlich stärker belästigt als Voraussagen der Standardkurve erwarten ließen.

Abb. 22 Zusammenhang zwischen Fluglärm (links: L_{den} ; rechts: nachts) und individueller Belästigung in verschiedenen Ländern in den Jahren 2003-2005 im Vergleich mit der EU Standardkurve (Daten aus 1978-1991)



Diese Zunahme der Belästigung traf nicht auf die Belästigung durch den Straßenverkehr zu. Die Belästigung durch Straßenverkehrslärm war auch in der hier vorliegenden Untersuchung 2003-2005 vergleichbar mit der EU-Standardkurve.

Abb. 23 Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm (L_{den} links; nachts rechts) und individueller Belästigung in verschiedenen Ländern in den Jahren 2003-2005 im Vergleich mit der EU-Standardkurve (1978-1991)



Schlussfolgerung der Autoren:

Die Belästigung durch Fluglärm in Europa (erhoben in den Jahren 2003-2005) hat im Vergleich zur sogenannten Standard EU-Kurve, die auf Studien in den Jahren 1978 bis 1991 beruht, erheblich zugenommen. Dies trifft nicht auf die Belästigung durch Straßenverkehrslärm zu.

Babisch W, Pershagen G, Selander J, Houthuijs D, Breugelmans O, Cadum E, Vigna-Taglianti F, Katsouyanni K, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Floud S, Hansell A. Noise annoyance – A modifier of the association between noise level and cardiovascular health? Science of the Total Environment (2013) 452-453: 50-57.

Fragestellung:

Beeinflusst die Belästigung, die durch eine Lärmquelle (hier: Flugverkehrslärm) ausgelöst wird, das Auftreten von Bluthochdruck?

Methode:

Analysiert wurden die Daten von Teilnehmern der HYENA (Hypertension and Exposure to Noise near Airports) Studie. HYENA ist ein groß-angelegtes (multizentrisch, 6 EU Länder) Studienprojekt (s. S. 55). Es flossen die Daten von 4.861 Personen im Alter von 45-70 Jahre ein, die in räumlicher Nähe zu einem großen Verkehrsflughafen lebten (London, Berlin, Amsterdam, Stockholm, Mailand, Athen). Bestimmt wurde der äquivalente Schalldruckpegel $L_{Aeq\ 24h}$ für den Wohnort der Studienperson per Lärmmodell. Für Fluglärm wurden Daten ab 40 dBA einbezogen, für Straßenverkehrslärm Daten mit einer Untergrenze von 45 dBA, um die Auswirkung von Messungenauigkeiten zu minimieren.

Während eines Hausbesuches wurden die Personen in einem Fragebogen nach der individuellen Belästigung durch Fluglärm befragt (ICBEN-Skala 11-stufig). Desweiteren wurden die Teilnehmer nach der ärztlichen Diagnose von Bluthochdruck befragt. Im Rahmen des Interviews wurde eine standardisierte nicht-invasive Blutdruckmessung durchgeführt.

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet: Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand.

Durchführungszeitraum:

Der Expositionsparameter Lärm wurde 2002 erhoben. Interviews und Blutdruckmessungen wurden zwischen 2003 und 2005 durchgeführt.

Ergebnisse:

Die nebenstehende Tabelle zeigt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Zunahme der Fluglärmbelastung und der Belästigung durch Fluglärm und dem Auftreten von Bluthochdruck (Arztdiagnose). Im Vergleich der beiden Parameter Schalldruckpegel und Belästigung durch Fluglärm zeigt sich ein Trend zu einem etwas stärkeren Effekt durch den Schalldruckpegel, jedoch erreichte dieser Trend keine statistische Signifikanz.

Tab. 14 Zusammenhang zwischen einer Zunahme des Fluglärms um 10 dB und der Belästigung und dem Auftreten von Bluthochdruck, Odds Ratio (Babisch et al., 2013)

Variablen	Teilnehmer	OR, L den	OR, Belästigung	Irrtumswahrscheinlichkeit, L den, Annoyance
Geräuschpegel (Flug, Straße)	4956	1,037		
Belästigung (Flug, Straße)	4960		1,003	
Geräuschpegel und Belästigung	4656	1,036	1,001	
Geräuschpegel				0,143
Belästigung (Skala 0-3)	1851	0,944		
Belästigung (Skala 4-7)	1289	1,112		
Belästigung (Skala 8-10)	1516	1,084		
Geräuschpegel				0,048
Belästigung (Skala 0-3)	1851	0,944		
Belästigung (Skala 4-10)	2805	1,095		
Geräuschpegel				0,466
Belästigung (Skala 0-7)	3140	1,021		
Belästigung (Skala 8-10)	1516	1,084		

Erklärung der Tabelle: Eine Zunahme des Fluglärms um 10 dB erhöhte das Risiko für Bluthochdruck um 3,7% (OR 1,037, nicht sign.). Bei gemeinsamer Betrachtung des Lärms und der Belästigung veränderte sich das Risiko für Bluthochdruck nicht wesentlich (3,6%; nicht sign.).

Bei Zunahme des Fluglärms um 10 dB und Betrachtung der Lärmbelästigten in unterschiedlichen Kategorien, war bei den Personen mit geringer Fluglärmelast (ICBEN-Skala 0-3) keine Zunahme des Risikos für Bluthochdruck erkennbar. Bei den am stärksten durch Fluglärm Belästigten (ICBEN-Skala 8-10) ergab sich eine Zunahme um 8,4% (nicht sign.), bei den weniger Belästigten (ICBEN-Skala 4-7) war die Zunahme des Risikos für Bluthochdruck am höchsten 11,2% (nicht signifikant).

Schlußfolgerung der Autoren:

Generell können sowohl Lärmpegel (objektive Exposition) als auch Lärmbelastigung (subjektive Exposition) für die Untersuchung von kardiovaskulären Erkrankungen durch chronische Lärmeinwirkung eingesetzt werden. Es gab einige Hinweise aus der HYENA-Studie, dass der Lärmpegel eine bessere Vorhersagekraft auf den Zusammenhang zwischen Lärmexposition und Bluthochdruck hat als die Lärmbelastigung. Es kann jedoch keine generelle Schlußfolgerung gezogen werden, dass einer der beiden Expositionsparameter (Lärmpegel oder Lärmbelastigung) eine „bessere“ Vorhersage des Risikos für Bluthochdruck erlaubt als der andere.

Bartels S, Marki F, Müller U. The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field - The COSMA study. Science of the total Environment (2015) 538: 834-843.

Fragestellung:

Einflußfaktoren (akustische und nicht-akustische) auf die individuell empfundene Belästigung durch Fluglärm

Methoden:

Untersucht wurden 55 Personen (34 davon weiblich) zwischen 18 und 70 Jahren, die zum Zeitpunkt der Untersuchung wenigstens 1 Jahr im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn lebten. An 4 nicht zwingend aufeinanderfolgenden Tagen mussten die Teilnehmer auf einem Notebook in vorgegebenen Abständen jeweils die individuell empfundene Belästigung notieren. Diese wurde angegeben auf der sogenannten ICBEN-Skala (International Commission on Biological Effects of Noise), einer 5-stufigen Skala mit Wertungen zwischen 1 (=nicht belästigt) bis 5 (=extrem belästigt).

Die Geräuschpegel an den 4 Tagen und Nächten wurden permanent an einem Ort ca. 4m von der Hauswand des Teilnehmers entfernt in L_{AS} (dB) registriert. Desweiteren wurden Merkmale registriert, die den Tagesablauf des Teilnehmers beschreiben (z.B. Fernsehen, Essen, Körperhygiene, Konversation etc.). Es wurden 2 Werktage und 2 Wochenendtage pro Teilnehmer aufgezeichnet.

Korreliert mit dem Grad der Belästigung (ICBEN-Skala) wurden mehrere Geräuschberechnungen wie Anzahl der Überflüge > 60dB, >65 dB, >70 dB etc.; absolute Zeit beeinflusst durch Fluglärm (Total AC time); äquivalenter Schalldruckpegel (L_{Aeq}); maximaler Schalldruckpegel; Quotient aus Fluglärm und Hintergrundlärm; Geschwindigkeit des Geräuschanstiegs durch Fluglärm.

Erhebungszeitraum:

06/2011 - 11/2011

Confounder:

Die Teilnehmer wurden in einem mehrstufigen Verfahren festgelegt, um mögliche Confounder auszuschließen. 19 Teilnehmer waren arbeitslos, 32 erwerbstätig, 4 gaben keinen Status an. 45 Teilnehmer waren Hauseigentümer.

Es wurden nur Teilnehmer ohne bekannte Schlafstörungen in die Untersuchung aufgenommen. Auch Personen mit Nachtschichtarbeit wurden ausgeschlossen. Ein audiometrischer Test wurde durchgeführt, um eine normale Hörfähigkeit zu bestätigen. In einer 1-stündigen Geräusch-Aufzeichnung des Innenraums wurde überprüft, ob noch andere Geräuschbelastungen in der Wohnung neben der Fluglärmbelastung bestanden. Auch dies war ein Ausschlusskriterium.

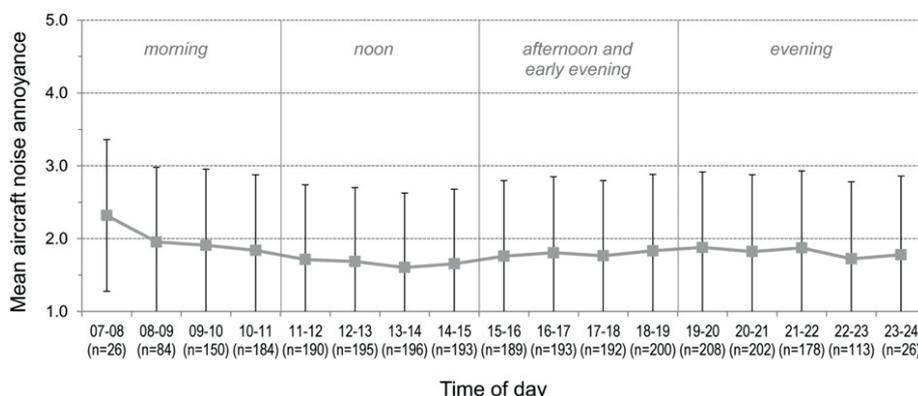
Ergebnisse:

Es konnten insgesamt 2.719 Situationen eingeschätzt per Belästigungs-Skala ausgewertet und mit den entsprechenden Geräuschberechnungen korreliert werden. Die beiden höchsten Werte für Belästigung (4 und 5) wurden eher selten vergeben (n=162 und n=10), wohingegen geringere Belästigungsgrade häufiger angegeben wurden (Grad 1: 1.326; Grad 2: 826; Grad 3: 395).

In der multivariaten Analyse, welche Geräuschberechnungen die beste Korrelation (bzw. die beste Vorhersagbarkeit) der 1h-Belästigung für diesen Zeitraum zulässt, zeigte sich, dass NAT₆₅ (Überflüge mit > 65dB) am besten geeignet war, die Belästigung für diese Stunde vorherzusagen. Dieser Parameter war besser geeignet als z.B. die gängigen Geräuschberechnungen N_{AC} (Zahl der Überflüge absolut), NAT₇₀ (Überflüge mit >70 dB) und L_{AeqAC} (äquivalenter Schalldruckpegel exklusiv für Fluglärm). Insgesamt zeigen die sogenannten individualisierten Schalldruckpegel, die stündlich 26 verschiedene Lärmparameter für den Außenbereich, den Aufenthaltsort der Teilnehmer sowie die Fensterstellung berücksichtigten, hier eine bessere Vorhersagbarkeit als der allgemeine Schalldruckpegel. Der individualisierte Schalldruckpegel erklärte die Varianz der Belästigung mit 9,3%, der allgemeine Schalldruckpegel nur mit 6,2%. Der individualisierte Schalldruckpegel (i L_{AeqAC}) war auch insgesamt der beste Vorhersageparameter. Wenn zu L_{AeqAC} noch die Parameter N_{AC} (Anzahl der Überflüge) und NAT₇₀ (Anzahl der Überflüge >70 dB) berechnet wurden, konnten 13,7% der Varianz der Belästigungswerte erklärt werden. Durch Hinzufügen weiterer Parameter stieg die Vorhersagbarkeit nicht weiter.

Es zeigten sich leichte, aber statistisch signifikante Veränderungen der Belästigung in Abhängigkeit von der Tageszeit (Morgens > Mittags, Mittags < Nachmittags, Mittags < Abends), aber keine veränderte Belästigungseinschätzung zwischen Wochentagen und Wochenendtagen.

Abb. 24 Mittlere Belästigung im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn in Abhängigkeit von der Tageszeit (Bartels et al., 2015)



Die durchgeführten Aktivitäten hatten Einfluss auf die angegebenen Belästigungswerte. Die Belästigungswerte waren höher während der Aktivitäten: Fernsehen/Radio, Entspannung, Essen. Bei körperlicher Aktivität waren die Belästigungswerte signifikant reduziert.

Personen, die eine hohe bzw. niedrige Zufriedenheit durch Schallschutzmaßnahmen an ihrem Gebäude angaben, unterschieden sich nicht im Grad der Belästigung.

Personen, die angaben, sehr sensibel auf Lärm zu reagieren, waren grundsätzlich eher belästigt.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die individuelle Berechnung des Schalldruckpegels und das Miteinbeziehen der Anzahl der Überflüge verbessert die Vorhersagbarkeit des Belästigungsgrades gegenüber dem Parameter allgemeiner Schalldruckpegel. Nicht-akustische Parameter wie die Tageszeit und die Beschäftigung haben Einfluss auf den Grad der Belästigung durch Fluglärm.

Aus Sicht der Autoren lassen sich 2 Aussagen aus den Ergebnissen ableiten.

1. Fluglärmexposition sollte nicht ausschließlich beurteilt werden in Bezug auf den äquivalenten Dauerschalldruckpegel (außen), sondern auch die Anzahl der Überflüge miteinbezogen werden.
2. Die hier vorliegenden Ergebnisse demonstrieren den großen Einfluss nicht akustischer Faktoren auf die fluglärm-induzierte Belästigung. Wohingegen vorangehende Studien häufig die Relevanz sozialer Variablen wie Einstellung, Erwartungen und Charaktereigenschaften in Frage stellten, zeigt sich hier ein Einfluss von situations-bezogenen Variablen. Kurzfristige Bewertungen der Lärmbelästigung wurden am ehesten beeinflusst von den Situationen, in denen die Bewertung abgegeben wurde (neben der Lärmsensitivität und der Dämmung des Gebäudes). Andere soziale Variablen wie Einstellung und Charakter scheinen in Bezug auf die Kurzzeit-Bewertung eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Beutel M, Jünger C, Klein E, Wild P, Lackner K, Blettner M, Binder H, Michal M, Wiltink J, Brähler E, Münzel T. Noise Annoyance is Associated with Depression and Anxiety in the General Population - The Contribution of Aircraft Noise, PLOS one (2016) 11 (5).

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen individuell empfundener Lärmbelastigung und dem Auftreten von depressiven Erkrankungen und Angststörung.

Methode:

Die Gutenberg Gesundheitsstudie (GHS) ist eine bevölkerungsbasierte, prospektive, monozentrische Kohortenstudie, die seit 2007 an der Universitätsklinik Mainz durchgeführt wird. Im Rahmen der Studie werden Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebserkrankungen, Augenerkrankungen, metabolische Erkrankungen sowie Erkrankungen des Immunsystems und der Psyche untersucht. Ziel der Studie ist es, die Risikovorhersage für den Einzelnen für diese Erkrankungen zu verbessern. Hierzu werden Lebensstil, psychosoziale Faktoren, Umwelt, laborchemische Parameter sowie das Ausmaß der Erkrankung erhoben. Im Rahmen der Basisuntersuchung wurden 15.000 Personen im Alter von 35 bis 74 Jahren zu einem fünfständigen Untersuchungsprogramm in das Studienzentrum eingeladen. Nach 2,5 Jahren wird ein Computer-assistiertes Telefoninterview mit einem standardisierten Interview sowie einer Erhebung von Endpunkten durchgeführt. Nach fünf Jahren erfolgt eine erneute ausführliche Follow-up-Untersuchung im Studienzentrum ähnlich der Eingangsuntersuchung bei Studieneinschluss.

Die Gutenberg Health Study (GHS) rekrutierte die Teilnehmer per Zufall aus dem örtlichen Melderegister. In Bezug auf die hier vorgestellte Untersuchung wurden die Teilnehmer in Fragebögen über die Belästigung durch verschiedene Lärmfaktoren befragt: Straßenverkehrs-, Flug- und Schienenverkehrslärm, Industrielärm, Nachbarschaftslärm innen und aussen. Die Antworten variierten für die Belästigung von „gar nicht“ bis „extrem“ auf einer 5-stufigen Skala (ICBEN). In weiteren Fragebögen wurde eine mögliche Depression (anhand PHQ-9, Patient Health Questionnaire) abgefragt und per GAD-7 (ein Fragebogen zur Erfassung von ANGST) eine mögliche Angststörung.

Die Lärmbelastung (Dauerschalldruckpegel etc.) wird nicht in die Untersuchung mit einbezogen.

Durchführungszeitraum:

Die Daten wurden erhoben zwischen 04/2007 und 04/2012.

Confounder:

Die Teilnehmer wurden eingeschrieben nach Informationen aus dem Melderegister. Sie wurden nicht eingeschlossen, wenn ihre sprachlichen Fähigkeiten nicht ausreichend waren oder körperliche und mentale Fähigkeiten eine Teilnahme an den Befragungen und den Untersuchungen nicht möglich machten. Die Ergebnisse wurden für „Alter“, „Geschlecht“ und „sozioökonomischer Status“ adjustiert.

Ergebnisse:

In einer logistischen Regressionsanalyse zeigte sich im Vergleich zu der Gruppe der gar nicht Belästigten eine Zunahme der Wahrscheinlichkeit für Depressionen von 1,20 für die moderat Belästigten und von 1,97 für die extrem Belästigten. Bei den Angsterkrankungen zeigte sich eine zunehmende Wahrscheinlichkeit gegenüber den nicht Belästigten von 1,42 bei den moderat Belästigten und von 2,14 bei den extrem Belästigten.

Tab. 15 Mittelwerte der Faktoren Depression und Angst in Abhängigkeit von der individuell empfundenen Belästigung (Beutel et al., 2016)

Belästigung: Erkrankung/Symptome	Keine n=3024 (20,7%)	Wenig N=3895 (26,6%)	Moderat n=3654 (25%)	Stark n=2536 (17,3%)	Extrem stark n=1530 (10,5%)	p-Wert
Depressionsscore (PHQ-9)	3,5	3,7	4,1	4,6	5,0	<0,001
Angstscore (GAD-2)	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	<0,001
	%	%	%	%	%	%
Depression (anhand PHQ-9)	6,1	5,8	7,2	9,6	12,0	<0,001
Angststörung (anhand GAD-2)	4,5	5,4	6,5	8,0	10,0	<0,001
Depression (Diagnose)	10,1	10,7	11,2	14,2	14,8	<0,001
Angststörung (Diagnose)	6,3	6,0	7,2	8,3	9,9	<0,001

Tab. 16 Zusammenhang (OR) zwischen individueller Lärmbelastigung und Depression bzw. Angst (Beutel et al., 2016)

Depression	Adjustierte Prävalenz Odds Ratio	p-Wert
Wenig belästigt	0,98	0,83
Moderat belästigt	1,2	0,047
Stark belästigt	1,59	<0,0001
Extrem stark belästigt	1,97	<0,0001
Angst		
Wenig belästigt	1,18	0,13
Moderat belästigt	1,42	0,001
Stark belästigt	1,75	<0,0001
Extrem stark belästigt	2,14	<0,0001

Im Vergleich zu anderen Lärmquellen zeigte die Belastung durch Fluglärm den höchsten Anteil an extrem Belästigten (>60% extrem belästigt).

Schlussfolgerung der Autoren:

Starke individuell empfundene Belästigung durch Lärm ist verbunden mit einer bis zu 2-fach höheren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Depression und einer Angststörung. Die Autoren konnten keinen direkten Zusammenhang zwischen Fluglärm-bedingter Belästigung und Depressionen oder Angst aufzeigen. Sie zeigten jedoch, dass Fluglärm in dieser Studie den höchsten Anteil extrem Belästigter in dieser Gruppe ausmachte (mehr als andere Lärmquellen). Prospektive Langzeituntersuchungen sind indiziert, einen kausalen Zusammenhang zwischen Belästigung und mentalen Erkrankungen zu untersuchen.

Boes S, Nüesch S, Stillman S. Aircraft noise, health, and residential sorting: Evidence from two quasi-experiments. Health Economics (2013) 22: 1037-1051.

Fragestellung:

Kausaler Zusammenhang zwischen Änderungen in der Fluglärmbelastung und dem allgemeinen Gesundheitszustand incl. Schlafqualität in Nähe des Flughafens Zürich.

Methoden:

Die Untersuchung wurde als sekundärdaten-basierte Analyse mit den Daten der Bewohner von Zürich/Schweiz durchgeführt. Es wurden Datensets verlinkt: zum einen die Lärmdaten des Schweizer Instituts für Materialwissenschaften und Technologie (EMPA). Zum anderen wurde der sog. Swiss Household Panel (SHP) genutzt. Dies ist eine etablierte Schweizer Längsschnitterhebung von insgesamt ca. 5.000 Haushalten und beinhaltet alle in ihnen lebenden Bewohner >14 Jahren. Die Daten werden per Computer-assistierten Telefon-Interviews von September bis Februar pro Erhebungsperiode aufgezeichnet. Für dieses Studiendesign wurden nur Haushalte im Umfeld des Flughafens Zürich eingeschlossen. Für jeden der genutzten Datensets wurde adress-genau der Lärmpegel erhoben.

Die Erhebungen erfolgten in Zusammenhang mit unerwarteten Änderungen der Fluglärmbelastung rund um den Flughafen Zürich 2000 und 2003. Zur Analyse wurde eine sogenannte „Fixierte Effekte“-Strategie genutzt. Hierzu werden fixierte individuelle Geräuschvarianzen genutzt. Man vermeidet dabei entsprechende Confounder, die durch eine starke Streuung der (Geräusch-)Varianzen aller Teilnehmer/Datensets entstehen.

Confounder:

Die Autoren geben an, als Kontrollvariablen Einkommen, Jobwechsel, Anzahl der Kinder, Familienstand, Geschlecht, Alter, Bildungsstand und Nationalität betrachtet zu haben.

Durchführungszeitraum:

Die Erhebungen des Swiss Household Panel fanden jeweils zwischen September bis Februar statt. Erhoben werden sollten Änderungen des Flugverkehrs vom Sommer 2000 und im Sommer 2003.

Ergebnisse:

Das analysierte Datenset dieser Erhebung beinhaltete 1.795 Personen und insgesamt 3.818 Personen-Jahre. 25,3% der Teilnehmer wurden registriert mit Schlafproblemen, 34,2% mit Kopfschmerzen, 33,9% mit Schwäche. 11,7% der Teilnehmer gaben an, an schlechter Gesundheit zu leiden. Insgesamt gaben die Teilnehmer an, dreimal im Jahr einen Arzt aufzusuchen und waren an durchschnittlich fünf Tagen pro Jahr von Gesundheitsproblemen beeinträchtigt.

Tab. 17 Effekte von Fluglärm auf die Gesundheit per allg. Regressionsmodell und per fixiertem Effekt Modell (Boes et al. 2013)

	Allgem. Regressionsmodell (gepoolt)		Modell „individuelle fixierte Effekte“	
	Ohne	Mit Korrektur für Confounder	Ohne	Mit Korrektur für Confounder
Effekte für Fluglärm tags				
Schlafprobleme	0,0004	-0,0001	0,0067*	0,0066*
Kopfschmerz	0,0016	0,0012	0,0101*	0,0103*
Schwäche	-0,0006	-0,0008	-0,0008	-0,0006
Schlechte Gesundheit	-0,0006	-0,0008	-0,0008	-0,0006
Anzahl ärztl. Vorstellung	0,0084	0,0037	-0,0368	-0,0377
Tage krank	-0,0006	-0,0171	0,104	0,0966
Effekte für Fluglärm nachts				
Schlafprobleme	0,0014	0,0012	0,0062*	0,0059*
Kopfschmerz	0,0021	0,0017	0,0033	0,0035
Schwäche	0,0011	0,0013	0,0038	0,0042
Schlechte Gesundheit	-0,0005	-0,0005	0,0002	0,0005
Anzahl ärztl. Vorstellung	-0,0045	-0,0051	-0,0026	-0,0016
Tage krank	-0,0273	-0,0365	0,0671	0,0647

* $p < 0,01$

Im allgemeinen Regressionsmodell (gepoolt) zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Gesundheitszustand. Im Modell des „fixierten Effektes“ zeigte sich ein signifikanter Anstieg bei Schlafproblemen und Kopfschmerzen (für 1 dB mehr Fluglärm z.B. 0,67% mehr Schlafprobleme).

Schlussfolgerung der Autoren:

Es zeigte sich laut Autoren ein signifikanter Zuwachs von Schlafproblemen und Kopfschmerzen bei zunehmender Fluglärmbelastung im Modell der „fixierten Effekte“. Dieses Modell korrigiert die Datensätze für die Varianz der individuellen Verschiedenheit der Lärmbelastung und für die räumliche Verteilung der Werte. Das heisst: besonders lärmsensible Personen wohnen (selektieren sich) in eher ruhigen Gegenden. Man könnte also davon ausgehen, dass diese Regionen durch entsprechende Gesundheitsfaktoren bereits belastet sind. Diesem Problem wird durch das Modell der „fixierten Effekte“ Rechnung getragen.

Brink M. Parameters of well-being and subjective health and their relationship with residential traffic noise exposure – A representative evaluation in Switzerland. Environment International (2011) 37: 723-733

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Faktoren des individuellen Wohlbefindens und der subjektiven Gesundheit zur Exposition mit Fluglärm (Straßen- und Schienenlärm), Expositions-Wirkungsbeziehungen für Fluglärm in der Schweiz.

Methoden:

In der hier vorliegenden Untersuchung wurden zwei große nationale Schweizer Datensets miteinander gekoppelt. Zum einen existiert in der Schweiz seit 1999 eine nationale Haushaltserhebung (Swiss Household Panel). Diese wird erhoben von der Schweizer Behörde für Forschung und Sozialwissenschaften. Erfasst werden hier Daten zur Lebensqualität, Lebensumständen, sozialen Position, Schulbildung und Erziehung, Beruf, Einkommen sowie persönliche Daten. Zu den persönlichen/subjektiven Daten gehören Einstellung zu Umweltthemen, Gesundheitszustand, Werte, Lifestyle etc. Die Daten werden jedes Jahr per Befragung aktualisiert.

Zum anderen existiert in der Schweiz seit 2008 ein großes nationales Noise-Mapping-Datenset (SonBase). Dieses ist in der Lage, adresssgenau Lärmdaten für die Lärmquellen Flugverkehr, Straße und Schiene zur Verfügung zu stellen. Als Lärmdaten stehen zur Verfügung: L_{DN} , L_{DAY} , L_{Night} , sowohl für Straßen-, Schienen- als auch Fluglärm.

Durchführungszeitraum:

Es wurden Daten des sogenannten Swiss Household Panel von 2004-2007 einbezogen. Die Daten des Son Base Noise Mappings von 2008 wurden 2006 erhoben.

Es konnten insgesamt 28.243 Datensätze von 10.373 Personen ausgewertet werden.

Confounder:

Es wurden die Faktoren sozioökonomischer Status, Alter, Geschlecht, emotionale Unterstützung durch den Partner, Body-Mass-Index und Urbanisierungsgrad am Wohnort betrachtet. Die Jahre, die am aktuellen Wohnort verbracht wurden, wären ein guter Indikator für die Lärmbelastung insgesamt. Dieses korreliert aber stark mit dem Lebensalter. Daher wurde auf diesen Confounder verzichtet.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Lärmexposition an der Wohnadresse und der Wahrnehmung eines „Lärmproblems“ konnte für die Lärmquellen Straße und Flugverkehr signifikant hergestellt werden.

Die Lärmexposition (Flug, Schiene, Straße) an sich hatte in dieser Untersuchung laut Autoren nur einen marginalen Einfluss auf den selbst-angegebenen Gesundheitszustand und Parameter des Wohlbefindens. Die Einflüsse der als Confounder betrachteten Faktoren sind deutlich größer. In der hier vorliegenden Untersuchung wurden jedoch nur subjektive Parameter des Gesundheitszustandes betrachtet. Über objektive Parameter kann hier keine Aussage getroffen werden.

Clark C, Crombie R, Head J, van Kamp I, van Kempen E, Stansfeld S. Does Traffic-related Air Pollution Explain Associations of Aircraft and Road Traffic Noise Exposure on Children's Health and Cognition? A secondary Analysis of the United Kingdom Sample from the RANCH Project. *Amer J Epidemiology* (2012) 176(4): 327-37.

Fragestellung:

Es wurde untersucht, ob Luftverschmutzung ein unabhängiger Einflußfaktor auf die kognitiven Leistungen und die Gesundheit von Grundschulkindern ist, die durch Verkehrslärm (Straße- und Flug-) belastet sind.

Methode:

Es handelt sich um eine Sekundäranalyse der britischen Studienpopulation der RANCH Studie (s. S. 71) (erhoben 2001-2003) mit insgesamt 960 Kindern im Alter von 9 bis 10 Jahren, die zum Zeitpunkt der Erhebung eine von 22 Grundschulen in der Nähe des Flughafens London Heathrow besuchten. Für 75% der Kinder (719 Kinder) konnten später retrospektiv ebenfalls Daten für den Parameter Luftverschmutzung an der Schule errechnet werden.

Als Maß für die Luftverschmutzung wurde Stickstoffdioxid (NO₂) verwendet. Die Lärmbelastung wurde durch den äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} für den Zeitraum 7 bis 23 Uhr am Schulstandort bestimmt. Die Teilnehmer wurden in mehreren Testverfahren über Leseverständnis, Erinnerungsfähigkeit und Wiedererkennung in standardisierten Testverfahren befragt. Die Eltern wurden in einem Fragebogen über den Sozialstatus und den Gesundheitszustand der Kinder befragt.

Ergebnisse:

Die Parameter Luftverschmutzung am Schulstandort und Belastung durch Fluglärm korrelierten (gering) miteinander, ebenso wie die Parameter Luftverschmutzung und Straßenverkehrsbelastung.

Die untenstehenden Tabellen zeigen Folgendes (* bezeichnet einen signifikanten Zusammenhang bei Signifikanzniveau von 0,05): Die Fluglärmbelastung (in dieser analysierten Gruppe) an den Schulen war signifikant assoziiert mit schlechteren Testergebnissen (Recognition memory/Wiedererkennung, Reading comprehension/ Leseverständnis, informaton recall/Informationserinnerung, conceptual recall/Zusammenhangserinnerung). Es zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Belastung durch Straßenverkehrslärm und den obengenannten Testergebnissen. Es bestand kein Zusammenhang zwischen dem Luftverschmutzungsparameter Stickstoffdioxid und einem Testergebnis.

Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Stickstoffdioxid in der Schule und mentalen Störungen, systolischem oder diastolischem Blutdruck sowie selbst-angegebenem Gesundheitszustand (sowohl vor als nach Adjustierung für Flug- und Straßenlärm).

Es gab keine Hinweise darauf, dass Luftverschmutzung den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und gesundheitlicher Beeinträchtigung vermittelt. Eine Ausnahme war, dass Straßenlärm mit schlechterem Abschneiden beim Testverfahren Wiedererkennung/Erinnern bei Kindern mit niedriger Stickstoffdioxid Belastung verbunden war (im Gegensatz zu Kindern mit hoher Belastung).

Schlussfolgerung der Autoren:

Insgesamt veränderte der Faktor Luftverschmutzung durch NO₂ nicht den Einfluß von Fluglärm auf die kognitiven Leistungen von Grundschulkindern.

Tab. 18 Multivariate Analyse über den Einfluß von Straßen- und Fluglärm (Schule) auf die kognitive Leistung von Grundschulkindern (UK, RANCH, 2001-2003) (Clark et al., 2012)

	Flug- und Straßenlärm an der Schule (adjustiert für sozioökonomische Faktoren) n=960			Luftverschmutzung- Untergruppe (n=719)		
	Teil- neh- mer	Auswirkung für 1 dB Lärmzuwachs	P-Wert	Teil- neh- mer	Auswirkung für 1 dB Lärmzuwachs	P-Wert
Kognitive Fähigkeiten						
Reading Comprehension/ Leseverständnis	864			651		
Straßenlärm		-0,001	0,8		-0,002	0,77
Fluglärm		-0,01	0,06		-0,011	0,05
Recognition Memory/ Wiedererkennung	844			641		
Straßenlärm		-0,012	0,47		-0,012	0,5
Fluglärm		-0,035	0,01		-0,042	<0,01
Information Recall/ Informationserinnerung	837			638		
Straßenlärm		0,039	0,27		0,04	0,14
Fluglärm		-0,025	0,35		-0,04	0,06
Conceptual Recall/ Zusammenhangs- erinnerung	834			636		
Straßenlärm		-0,007	0,37		0,007	0,31
Fluglärm		-0,011	<0,01		-0,015	<0,01
Arbeitsgedächtnis	785			580		
Straßenlärm		0,038	0,45		0,036	0,6
Fluglärm		-0,004	0,92		0,0008	0,99
Gesundheitsfaktoren						
Psychischer Stress	842			634		
Straßenlärm		-0,025	0,38		-0,03	0,35
Fluglärm		-0,017	0,46		-0,023	0,36
Selbst-angegebener Gesundheitszustand	868			655		
Straßenlärm		0,0006	0,96		0,003	0,82
Fluglärm		0,002	0,83		0,007	0,54
Systolischer Blutdruck	351			276		
Straßenlärm		-0,009	0,22		-0,092	0,39
Fluglärm		0,02	0,77		0,024	0,76
Diastolischer Blutdruck	351			276		
Straßenlärm		0,02	0,76		-0,125	0,61
Fluglärm		0,01	0,83		-0,104	0,75

*p<0,05; signifikant ; adjustiert für soziodemographische Faktoren

Tab. 19 Multivariate Analyse über den Einfluß von Luftverschmutzung am Schulstandort auf die kognitive Leistung von Grundschulern (Clark et al., 2012)

	Teilnehmer	Luftverschmutzung an Schule (adjustiert)		Luftverschmutzung, Fluglärm, Straßenlärm (adjustiert)	
		Auswirkung für 1 dB Lärmzuwachs	P-Wert	Auswirkung für 1 dB Lärmzuwachs	P-Wert
Reading Comprehension/ Leseverständnis	651				
NO ₂		0,00041	0,95	0,004	0,53
Straßenlärm				-0,004	0,65
Fluglärm				-0,012*	0,05
Recognition Memory/ Wiedererkennung	641				
NO ₂		-0,005	0,78	0,012	0,48
Straßenlärm				-0,016	0,4
Fluglärm				-0,045*	<0,01
Informationserinnerung /Information Recall	638				
NO ₂		0,012	0,62	0,015	0,54
Straßenlärm				0,036	0,21
Fluglärm				-0,043*	0,05
Zusammenhangserinnerung/ Conceptual Recall	636				
NO ₂		-0,002	0,79	0,00023	0,97
Straßenlärm				0,007	0,34
Fluglärm				-0,015*	0,01
Arbeitsgedächtnis/ Working Memory	580				
NO ₂		0,036	0,74	0,003	0,98
Straßenlärm				0,034	0,7
Fluglärm				0,00086	0,99

*signifikant p<0,05; adjustiert für soziodemographische Faktoren

Tab. 20 Multivariate Analyse über den Einfluß von Verkehrslärm und Luftverschmutzung (Schule) auf die Gesundheit von Grundschulkindern (Clark et al., 2012)

	Teilnehmer	Luftverschmutzung, adjustiert		Luftverschmutzung, Fluglärm, Straßenlärm an der Schule, adjustiert	
		Auswirkung für 1dB Lärmzuwachs	P-Wert	Auswirkung für 1 dB Lärmzuwachs	P- Wert
Psychischer Stress	634				
NO ₂		0,012	0,67	0,025	0,4
Straßenlärm				-0,037	0,27
Fluglärm				-0,028	0,28
Selbst angegebener Gesundheitszustand	655				
NO ₂		0,013	0,18	0,07	0,22
Straßenlärm				-0,0002	0,99
Fluglärm				0,004	0,7
Systolischer Blutdruck	276				
NO ₂		0,058	0,45	0,07	0,47
Straßenlärm				-0,102	0,35
Fluglärm				0,017	0,83
Diastolischer Blutdruck	276				
NO ₂		0,033	0,58	0,088	0,24
Straßenlärm				0,03	0,73
Fluglärm				0,012	0,85

Clark C, Head J, Stansfeld S. Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: a six-year follow-up of the UK RANCH cohort. Journal of Environmental Psychology (2013) 35:1-9

Fragestellung:

Gibt es im Langzeitverlauf einen Einfluß von Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen (hier: Leseverständnis), Lärmbelästigung und Lebensqualität (psychological health)?

Methode:

Von 1.355 im Alter von 9-11 Jahren erst-untersuchten Kinder konnten 461 Jugendliche in einem 6-Jahres Follow-up nachuntersucht werden. Diese hatten im Zeitraum 2001-2003 bereits am Studienprojekt RANCH teilgenommen. In der Folgeuntersuchung wurden die Kinder nachuntersucht, die während des gesamten Zeitraumes in der Umgebung des Flughafens London Heathrow die Schule besuchten. Zum Zeitpunkt der Follow-up Untersuchung waren die Jugendlichen 15-16 Jahre alt. Mehr als die Hälfte konnte nicht nachuntersucht werden,

- weil sie offenbar keine secondary school in London besuchten (251),
- dem Follow-up nicht zustimmten (50),
- Schulen in Bezirken besuchten, die wegen zu geringer Zahl der nachzuuntersuchenden Schüler nicht berücksichtigt wurden (39),
- weil die Schulen (190), die Eltern (2) oder die Schüler (26) nicht einverstanden waren,
- weil sie die Schule verlassen haben (122),
- zum Zeitpunkt der Testung aus verschiedenen Gründen gerade nicht in der Schule waren (167)
- bzw. weil die Schulen aus dem follow-up ausgeschlossen wurden (47).

Im Längsschnitt wurden eher Kinder ausgeschlossen mit Einfachverglasung im Klassenraum, eher schlechterer psychischer Gesundheit und schlechterem Leseverständnis.

Als Grundlage für die Fluglärmbelastung zählte der äquivalente Schalldruckpegel $L_{Aeq,7-23Uhr}$ errechnet für den Standort der Schule 1999 und 2007.

Genutzt wurde der Suffolk Reading Scale Level 3 (zu Baseline Level 2); 30-min Test mit 76 Items validiert für Kinder/Jugendliche im Alter von 11J bis 15J und 4Mo. Beantwortet wurde in Multiple choice Sätzen mit 5 Antwortmöglichkeiten.

Von den Eltern wurde initial der Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ) 25 Items, für 3-16-jährige Kinder/Jugendliche ausgefüllt. Zum Follow-up wurde der Fragebogen von den Jugendlichen selbst beantwortet. Abgefragt wurden hier emotionale Symptome, Verhaltensauffälligkeiten, Hyperaktivität; sog. Peer-Probleme, unsoziales Verhalten. Es wurden ferner Fragen zur Lärmbelästigung gestellt.

Durchführungszeitraum:

Die kognitiven Testungen wurden zunächst 2001-2003 durchgeführt. Das Follow-up erfolgte nach 6 Jahren. Die Lärmbelastungsdaten an der Schule stammen von Juli-September 1999 und von Juli-September 2007 (Lärmmessungen an der Schule nur zur Ersterhebung).

Confounder:

Erhoben wurden der Sozialstatus (Anstellungsverhältnis, Mietverhältnis, Anzahl der Bewohner in der Wohnung, Bildung der Mutter, ethnische Zugehörigkeit, Muttersprache) und medizinische Details wie Geburtsgewicht, elterlicher Blutdruck und Body-Mass-Index (BMI).

Ergebnisse

Die unten abgebildete Tabelle zeigt, dass lediglich der Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und berichteter Belästigung (noise annoyance) statistisch signifikant ist (p-Wert <0,05). Alle anderen untersuchten Parameter waren nicht signifikant mit der Lärmbelastung assoziiert.

Tab. 21 Die multivariate Regressionsanalyse zeigt die Odds Ratios für eine Zunahme von 1 dB Geräuschbelastung beim Follow-up (Clark et al., 2013)

	Nicht-adjustiert		Adjustiert für sozio- ökonomische Faktoren	
	OR für 1 dB Lärmzuwachs	P-Wert	OR für 1 dB Lärmzuwachs	P-Wert
Leseverständnis				
Fluglärmbelastung bei Erst-Untersuchung	-0,008	0,191	-0,005	0,435
Fluglärm bei Follow-Up	-0,022	0,277	-0,016	0,357
Kumulative Lärmbelastung	-0,014	0,109	-0,011	0,222
Belästigung durch Fluglärm				
Fluglärmbelastung bei Erst-Untersuchung	0,017*	<0,001	0,019*	<0,001
Fluglärm bei Follow-Up	0,048*	<0,001	0,043*	<0,001
Kumulative Lärmbelastung	0,030*	<0,001	0,031*	<0,001
Psychischer Stress				
Fluglärmbelastung bei Erst-Untersuchung	-0,006	0,87	0,001	0,998
Fluglärm bei Follow-Up	-0,023	0,759	0,017	0,781
Kumulative Lärmbelastung	-0,002	0,962	0,015	0,718
Hyperaktivitäts-Score				
Fluglärmbelastung bei Erst-Untersuchung	0,002	0,9	0,006	0,688
Fluglärm bei Follow-Up	0,001	0,978	0,019	0,476
Kumulative Lärmbelastung	0,002	0,932	0,01	0,63
Verhaltensauffälligkeits-Score				
Fluglärmbelastung bei Erst-Untersuchung	0,01	0,421	0,006	0,616
Fluglärm bei Follow-Up	0,011	0,617	0,015	0,527
Kumulative Lärmbelastung	0,013	0,438	0,008	0,617
Emotionale Probleme				
Fluglärmbelastung bei Erst-Untersuchung	-0,009	0,562	-0,008	0,555
Fluglärm bei Follow-Up	-0,034	0,372	-0,022	0,394
Kumulative Lärmbelastung	-0,021	0,315	-0,015	0,436

*signifikant

Schlussfolgerung der Autoren:

Diese Untersuchung ist die erste Längsschnittuntersuchung, die eine große Gruppe Kinder/Jugendliche mit Fluglärmbelastung am Schulstandort über einen längeren Zeitraum verfolgt. Es zeigt sich, dass die Belästigung durch Fluglärm im Verlauf zunimmt.

Eine Beeinträchtigung des Leseverständnisses ist im Langzeitverlauf nicht signifikant nachweisbar.

„Es unterstützt nicht die Hypothese, dass Kinder, die fluglärmbelastete Grund- oder weiterführende Schulen besuchen, im Alter von 15-16 Jahren ein schlechteres Leseverständnis aufweisen“. Die Autoren schränken die Aussage allerdings ein und betonen, dass die kleine Anzahl der Nachuntersuchten das Ergebnis beeinträchtigt haben könnte und stellen fest: „Es sind negative Koeffizienten für die Wirkung des Fluglärms an der Grundschule, der weiterführenden Schule und der Kombination beider Phasen nachweisbar und im Ausmaß vergleichbar mit den Ergebnissen im Alter von 9-10 Jahren. Sie sind jedoch nicht statistisch signifikant“.

Die Koeffizienten zum Leseverständnis und zur individuell angegebenen Belästigung sind 2-3-fach stärker als zum ersten Untersuchungszeitpunkt. Das könnte für einen stärkeren Effekt längerer Fluglärmbelastung sprechen. Dieser Effekt war jedoch nicht signifikant.

Es fand sich keine Assoziation zwischen Fluglärm und psychischer Gesundheit. Der Zusammenhang zwischen Hyperaktivität und Fluglärm zum Zeitpunkt 1 war im Follow-up nicht mehr nachweisbar. Desweiteren zeigte sich kein Hinweis für eine kumulative Fluglärmbelastung zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2.

„Insgesamt weisen die Ergebnisse der RANCH Studie darauf hin, dass ein chronischer Umweltstress-Faktor – Fluglärm an der Schule – die kognitive Entwicklung der Kinder, insbesondere das Leseverständnis beeinträchtigen kann und mit Lärmbelastungsreaktionen assoziiert ist. Insgesamt unterstützt die Evidenz von RANCH die Feststellung, dass Schulen, die gegenüber Fluglärm stark exponiert sind, keine gesunde Bildungs-Umwelt darstellen (healthy educational environment)“.

Correia A, Peters J, Levy J, Melly S, Dominici F. Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study. British Medical Journal (2013) 08 Oct 2013, 1-11.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition am Wohnort und Krankenhausaufnahmen wegen kardiovaskulären Erkrankungen bei Senioren (>65 Jahre) in den USA.

Methoden:

Analyse aus dem Umfeld zahlreicher US-amerikanischer Flughäfen (89) mit insgesamt 6.027.363 Datensätzen von Personen >65 Jahren, die 2009 in definierter räumlicher Nähe zu einem Verkehrsflughafen in den USA lebten. Die Informationen zur Krankenhausaufnahme und der Aufnahme-Diagnose stammen aus den Daten der nationalen Krankenversicherung Medicare.

Berücksichtigt wurden 5 ICD-9 Diagnosecodes: Herzinsuffizienz, Herz-Rhythmusstörung, cerebrovaskulärer Insult (Schlaganfall), ischämische Herzerkrankung, periphere vaskuläre Erkrankung.

Die Geräuschbelastung in dB (24 Stunden) wurde durch die amerikanische Luftaufsichtsbehörde zur Verfügung gestellt. Die Lärmbelastung in dB wurde für einzelne Postleitzahlbereiche berechnet. Dabei wurden zwei verschiedene rechnerische Definitionen für die Lärmbelastung genutzt:

1. Für einen Postleitzahlen (zip code)-Bereich mit wenigstens 1 Teilnehmer (>65 Jahren) wird die *90. Perzentile* der Lärmbelastung innerhalb des Blocks dieser Postleitzahl genutzt.
2. Für die *Bevölkerungs-gewichtete Lärmexposition* wird die Lärmbelastung (lautester Punkt im Block) genutzt und mit dem Anteil der Personen >65 Jahren an der Gesamtbevölkerung im entsprechenden Postleitzahlenbereich gewichtet.

Durchführungszeitraum:

Zur Expositionsabschätzung wurde ein Lärmmodell mit Daten von 2009 verwendet. Die Daten von Medicare wurden analysiert für das Jahr 2009.

Confounder:

Die Daten wurden adjustiert sowohl für demographische Faktoren, den sozioökonomischen Status am Wohnort und für die Verkehrsdichte und Luftverschmutzung am Wohnort, in drei Modellen:

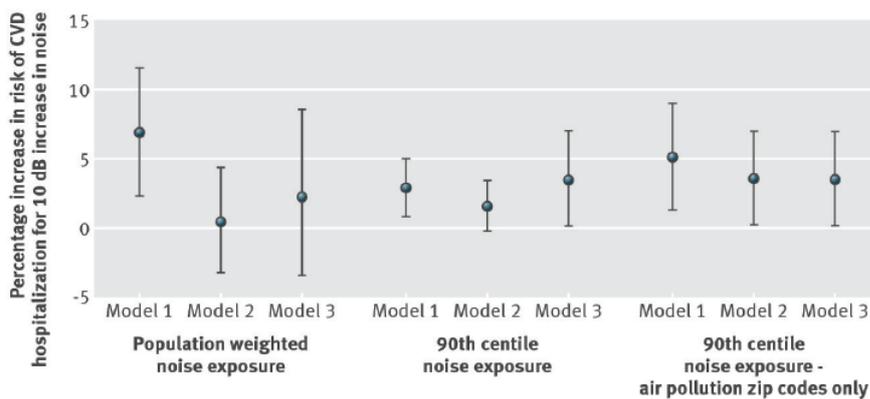
- Modell 1 mit Adjustierung für Geschlecht, Alter und ethnischer Herkunft,
- Modell 2 zusätzlich adjustiert für den mutmaßlichen sozioökonomischen Status (Berücksichtigung des Anteils der hispanischen Bevölkerung sowie des durchschnittlichen Einkommens der Bewohner in diesem Postleitzahlenbereich) und
- Modell 3 adjustiert zusätzlich für Straßenverkehrslärm und Luftverschmutzung.

Ergebnisse:

Für die Berechnung *90 Perzentile der Lärmexposition* zeigte sich, dass ein Anstieg von 10 dB Flugverkehrslärm das Risiko für eine Krankenhausaufnahme wegen kardiovaskulärer Erkrankung um 2,9% erhöhte (sign.). Nach Berücksichtigung des Postleitzahl-bezogenen sozio-ökonomischen Status betrug die Risikoerhöhung noch 1,6%. Im Modell 3 nach Adjustierung für Luftverschmutzung und Straßenverkehrslärm stieg das Risiko für eine Krankenhausaufnahme um 3,5%.

Für die Berechnung *bevölkerungs-gewichtete Lärmexposition* zeigte sich nur in Modell 1 ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit einer Risikoerhöhung um 6,9% (sign). Nach Berücksichtigung von sozioökonomischen Variablen, Luftverschmutzung und Straßenverkehrslärm waren die Einflüsse auf die Krankenhauseinweisung geringer und nicht mehr signifikant.

Abb. 25 Geschätzte prozentuale Zunahme der Krankenhausaufnahmen durch kardiovaskuläre Erkrankungen bei einer um 10 dB zunehmenden Lärm-Belastung; Modell 1 kontrolliert für demographische Daten (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft), Modell 2 für berechneten sozioökonomischen Status, Modell 3 kontrolliert für die Faktoren der Luftverschmutzung (Correia et al., 2013)



Bezogen auf die 90. Perzentile der Lärmexposition wurden die Gruppen der hoch-, mittel- und niedrig-belasteten Personen miteinander verglichen. Es zeigte sich hier eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für Krankenhausaufenthalte im Vergleich der hoch- zu den mittel-belasteten und zwischen den hoch- und den niedrig-belasteten Personen, nicht aber zwischen den mittel- zu den niedrig-belasteten. Dieses legt nach Angabe der Autoren nahe, dass der Zusammenhang eher bei den höher-belasteten Personen relevant ist.

Abb. 26 Geschätzte prozentuale Zunahme an (Krankenhaus-)Neuaufnahmen durch Lärm-belastung (low noise, <50 dB; medium noise 50-55 dB; high noise >55 dB) ; Modell 1 kontrolliert für demographische Daten (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft), Modell 2 für berechneten sozioökonomischen Status, Modell 3 kontrolliert für die Faktoren der Luftverschmutzung (Correia et al., 2013)

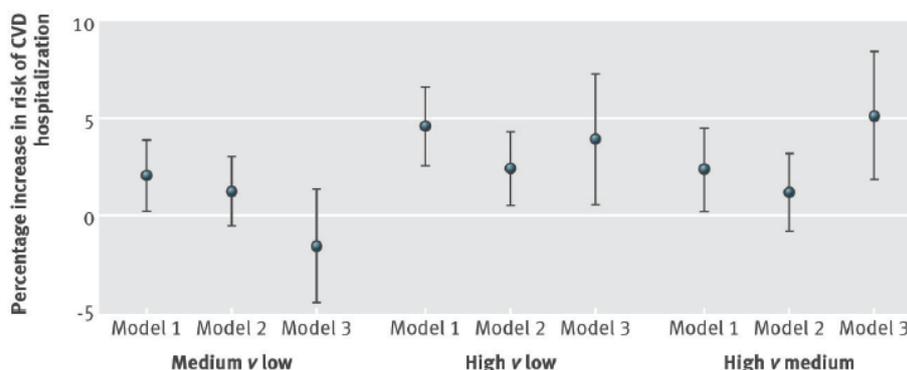
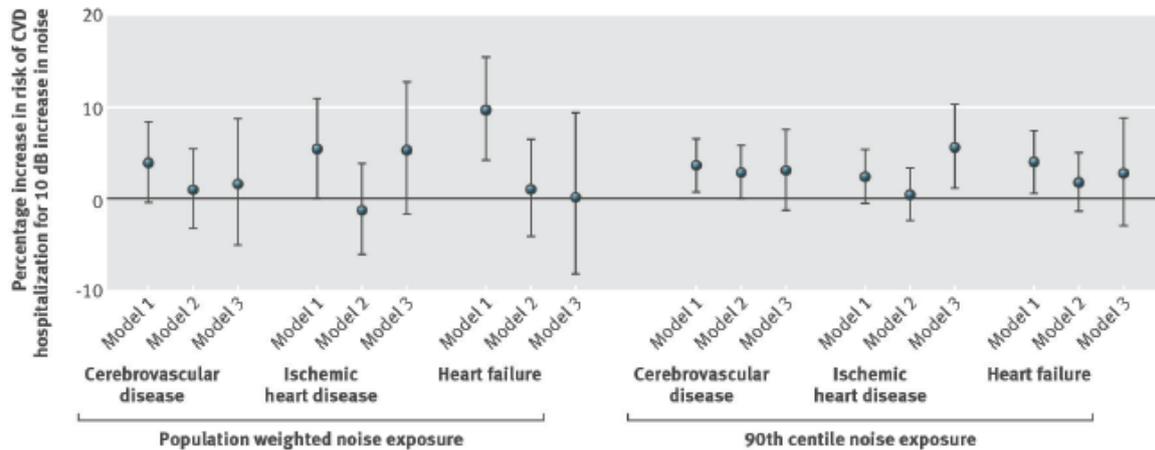


Abb. 27 Geschätzte prozentuale Zunahme der Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen bei 10 dB mehr Lärm; Modell 1 kontrolliert für demographische Daten (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft), Modell 2 für berechneten sozioökonomischen Status, Modell 3 kontrolliert für die Faktoren der Luftverschmutzung (Correia et al., 2013)



Die Autoren beschreiben sehr detailliert die Stärken und Schwächen ihrer Arbeit:

Diskutierte Stärken:

- Erste größere Untersuchung zu gesundheitlichen Auswirkungen des Fluglärms in den USA seit ca. 30 Jahren! Andere Fluglärmstudien der letzten Jahrzehnte waren im Wesentlichen in Europa durchgeführt worden – mit nur bedingt vergleichbaren Wohnverhältnissen und Lebensbedingungen.
- Größte Untersuchung einer älteren Population (mehr als 6 Millionen Menschen > 65 Jahre) im Umfeld von Flughäfen überhaupt
- Multizentrischer Ansatz (89 Flughäfen), verschiedene Klimaregionen
- Adjustierung für Luftbelastung in der Region und die straßenverkehrsbedingte Luft- und Lärmbelastung (Straßennähe)

Diskutierte Schwächen:

- Reine Krankenkassendaten, d.h. fehlende individuelle Information zum Rauchstatus und zu Ernährungsgewohnheiten, die bekannte Einflußfaktoren auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind.
- Expositionsabschätzungen anhand von Lärmkarten (Konturen), nicht individuell; insbesondere keine Berücksichtigung der Start- und Landerichtung und der Windverhältnisse.
- Expositionsabschätzung anhand von Lärmkarten können lokale akustische Bedingungen wie Absorption im Gelände, Feuchtigkeit, Bebauung etc. nicht berücksichtigen.
- Lärmkarten nur für 24h-Belastung; nicht differenziert in verschiedene Zeitscheiben.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die beschriebenen Ergebnisse legen laut den Autoren einen Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und der Hospitalisierung wegen kardiovaskulären Erkrankungen nahe. Für die Berechnung 90 Perzentile der Lärmexposition ist dies auch noch nach Adjustierung auf sozioökonomischen Status, Luftverschmutzung und Straßenverkehrslärm der Fall. Der Vergleich der hoch-, mittel- und niedrig-belasteten Personen untereinander legt nahe, dass der Zusammenhang eher bei hoher Lärmexposition besteht.

Crombie R, Clark C, Stansfeld S. Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten year old children: a cross-sectional field study. Environmental Health (2011) 10:39.

Fragestellung:

Stellen Fluglärm und Straßenverkehrslärm einen zusätzlichen Risikofaktor für Verhaltensauffälligkeiten und emotionale Symptome bei Kindern mit Geburtsrisiko (early biological risk) dar?

Methoden:

Die hier vorliegende Untersuchung ist Teil des groß-angelegten RANCH Studienprojektes. Eingeschlossen für diese Fragestellung wurden 1.900 Kinder (Niederlande= 558, Spanien= 559, UK= 783; männlich= 897, weiblich= 1.003). Untersucht wurde der Faktor „early biological risk“, d.h. Kinder mit Frühgeburtlichkeit in der Anamnese und/oder niedrigem Geburtsgewicht. Unvollständige Datensets wurden ausgeschlossen, um eine Vergleichbarkeit der Modelle herzustellen. Die Evaluierung der mentalen Gesundheit erfolgte mit dem SDQ Fragebogen (Strength and Difficulties Questionnaire).

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet Teilnahmeland, Geschlecht, Alter, Angestelltenstatus, beengte Wohnverhältnisse, Wohnungseigentum, Bildungsstand der Mutter, chronische Erkrankung, Muttersprache, elterliche Unterstützung für die Schule und Verglasung in der Schule.

Ergebnisse:

11,5% der Teilnehmer erfüllten das Kriterium „Early biological risk“ (Frühgeburtlichkeit/Unreife). Kinder mit dem bekannten Risikofaktor „early biological risk“ zeigten häufiger emotionale Störungen und Verhaltensauffälligkeiten. Es zeigte sich jedoch kein zusätzlicher Effekt durch Flug- oder Straßenlärm.

Tab. 22 Geschätzter Einfluss der Parameter Fluglärm, Straßenverkehrslärm und Frühgeburtlichkeit auf die mentale Gesundheit wie erhoben im SDQ Fragebogen (Crombie et al., 2011)

	Einflussfaktoren	Geschätzter Einfluss	p-Wert
SDQ Fragebogen	Fluglärm	0,01	0,51
	Straßenlärm	-0,02	0,21
	Frühgeburtlichkeit	1,64	0,00*
Emotionale Störungen	Fluglärm	0,00	0,97
	Straßenlärm	-0,00	0,89
	Frühgeburtlichkeit	0,52	0,00*
Verhaltensauffälligkeiten	Fluglärm	-0,01	0,17
	Straßenlärm	-0,01	0,03*
	Frühgeburtlichkeit	0,4	0,00
Hyperaktivität	Fluglärm	0,01	0,05
	Straßenlärm	-0,00	0,94
	Frühgeburtlichkeit	0,16	0,38

*p <0,05

Schlussfolgerung der Autoren:

Kinder mit einer frühen Belastung durch Frühgeburtlichkeit oder mangelndes Geburtsgewicht sind nicht besonders anfällig für Fluglärmeffekte. Sie zeigen jedoch insgesamt häufiger Auffälligkeiten der psychischen Gesundheit (emotionale Störungen, Verhaltensauffälligkeiten).

Eikmann T, Zur Nieden A, Lengler A, Harpel S, Ziedorn D, Bürger M, Pons-Kühnemann J, Römer K, Hudel H, Spilski J. NORAH – Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Blutdruckmonitoring. Wirkung chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen. Endbericht Band 5. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. 2015

Fragestellung:

Gibt es einen messbaren Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und dem mittleren Blutdruck und anderen kardiovaskulären Parametern (diastol. Blutdruck, Puls, PROCAM Index)? Wenn ja: wie stark ist dieser Zusammenhang? Gibt es Unterschiede zwischen der Wirkung von Flug-, Schienen- und Straßenlärm? Verändert sich die Wirkung beim Auftreten mehrerer Lärmarten zusammen? Beeinflusst Fluglärm das Herzinfarkt-Risiko?

Methode:

Nach individueller Einweisung der Teilnehmer (in der eigenen Wohnung) wurden die Daten von 844 erwachsenen Personen (ab 18 Jahre) (Teilgruppe aus Modul 2 der NORAH-Studie) im Umfeld des Frankfurter Flughafens analysiert, die täglich selbst, morgens und abends, über 3 Wochen Blutdruckmessungen mit vollautomatischen Geräten durchführten. Die Daten wurden automatisiert telemetrisch übertragen und zusätzlich von den Probanden aufgezeichnet (Datenvalidierung möglich).

Als akustische Grundlage diente der kombinierte Abend- und Nachtpegel $L_{pAeq, 18-06h}$ für alle Verkehrsgereusche bezogen auf die individuelle Adresse, berechnet über die jeweils 12 vorangegangenen Monate.

Es erfolgte eine persönliche Befragung zu Lebensstil, aktueller Gesundheit, Lärmempfindlichkeit etc.. Angaben zur Medikamenteneinnahme wurden durch In-Augenschein-Nehmen der vorhandenen Medikamente überprüft.

79,6% der Teilnehmer wiederholten diesen Untersuchungsgang (3 Wochen Selbstmessung) nach genau einem Jahr. Die Auswertung wurde auf die inzwischen stattgefundene Lärmbelastung der letzten 12 Monate bezogen.

Zur Ermittlung des individuellen Herzinfarkt-Risikos wurde der PROCAM-Index genutzt, der folgende 9 Faktoren berücksichtigt: Alter, Geschlecht, Diabetes, Rauchen, Blutdruck, Körpergewicht und -größe, Einnahme von Medikamenten gegen Bluthochdruck, Herzinfarkte in der Familie.

Durchführungszeitraum:

2011 – 2014

Confounder:

Als potentielle Confounder wurden Geschlecht, Alter, sozioökonomischer Status und Migrationshintergrund in die Analyse miteinbezogen. Desweiteren wurden Wohnbedingungen, Fensterart und Schallschutzmaßnahmen, genauso wie gesundheits-bezogene Risiko- und Lebensstilfaktoren (Rauchen, Aktivität, Alkoholkonsum, BMI), Lärmempfindlichkeit und Lärmbewältigungsmaßnahmen als sogenannte Co-Determinanten in die Analyse mit einbezogen.

Abb. 28 Systolischer Blutdruck bei Männern und Frauen - über 5 dB-Pegelklassen von Luftverkehrsgeräuschen in $L_{Aeq, 18-6Uhr}$ (Eikmann et al., 2015)

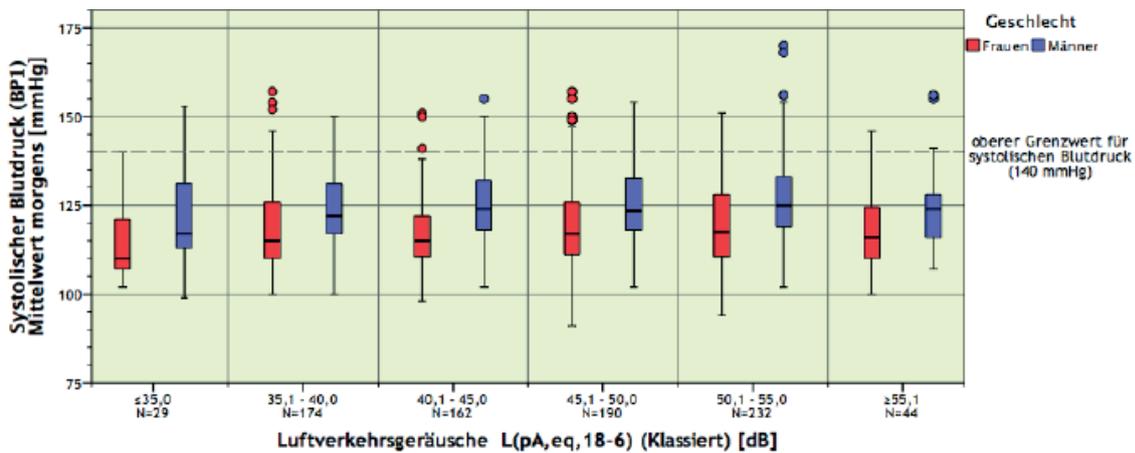
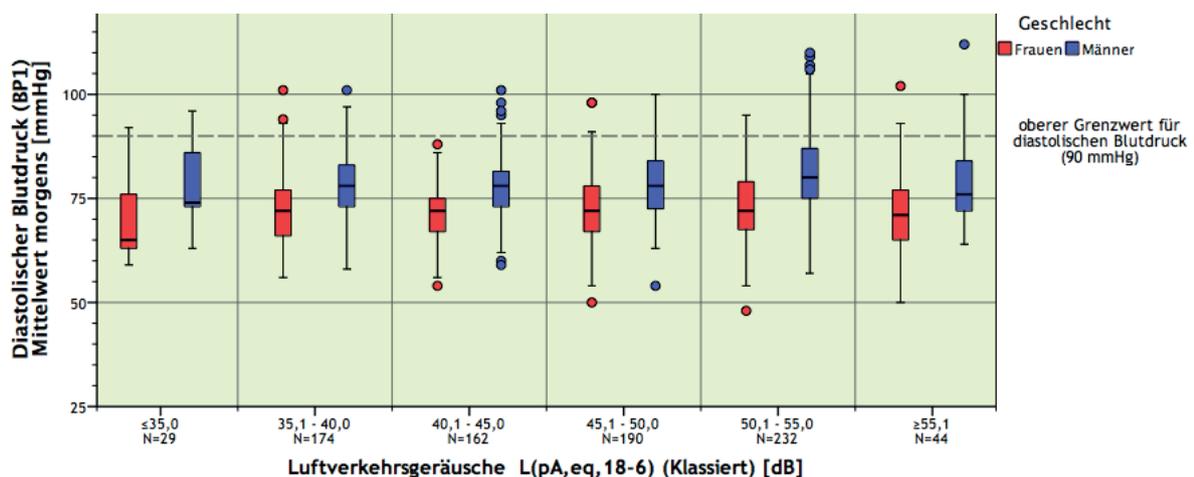


Abb. 29 Diastolischer Blutdruck bei Männern und Frauen über 5 dB Pegel-Klassen von Luftverkehrsgeräuschen in $L_{Aeq, 18-6 Uhr}$ (Eikmann et al., 2015)



Ergebnisse:

Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen Verkehrsgeräuschpegeln und den Zielgrößen: mittlerer systolischer Blutdruckmesswert, mittlerer diastolischer Blutdruckmesswert, Herzfrequenz, Blutdruckamplitude, Hypertonie und 10-Jahres-Herzinfarktsrisiko. In keiner dieser Analysen ergab sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Luftverkehrsgeräuschpegel. Auch die Zusammenhänge zwischen Straßenverkehrs- und Schienenlärmpegel und den Zielgrößen waren nicht statistisch signifikant. Die gleichen Ergebnisse wurden nach einem Jahr bestätigt.

Die Teilgruppe der Probanden, die weniger als 13 Jahre am Wohnort lebten, reagierten stärker auf die Geräuschbelastung durch Flug- oder Schienenverkehr als Menschen, die länger dort wohnten (4-26 Jahre; über 26 Jahre). Der Unterschied war nicht statistisch signifikant.

Schlussfolgerung der Autoren: (Zitat)

1. Es zeigen sich überwiegend positive, jedoch durchweg quantitativ geringe Effektschätzer ohne statistische Signifikanz für die untersuchten Zusammenhänge zwischen den Expositionen Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche und der Hauptzielgröße systolischer Blutdruck sowie den Nebenzielgrößen diastolischer Blutdruck, Herzfrequenz, Blutdruckamplitude und Hypertonie.
2. Dies gilt auch für den untersuchten Zusammenhang zwischen den untersuchten Geräuschexpositionen und dem als PROCAM-Score betrachteten 10-Jahres-Herzinfarkttrisiko. Allerdings erscheint eine Bewertung dieses Parameters unter anderem aufgrund seiner starken Altersabhängigkeit und Streuung nicht sinnvoll.
3. Messungen der Exposition der Luftverkehrsgeräusche im Abstand von zwölf Monaten gaben keine Hinweise auf bedeutsame Änderungen auf die Blutdruckmesswerte. Für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche ergaben sich nur bei wenigen Teilnehmern Änderungen in der Exposition, sodass hier keine Analysen durchgeführt wurden.
4. Die auftragsgemäße Wiederholung der Querschnittsanalyse für die Daten der zweiten Beobachtungsperiode ergeben keine Hinweise auf systematische Unterschiede zwischen den Effektschätzern für BP1 (Erstuntersuchung) und BP2 (Nachuntersuchung nach 12 Monaten). Hierin wird die Methodik der vorliegenden Studie jedoch zusätzlich bestätigt.

Elmenhorst E, Elmenhorst D, Wenzel J, Quehl J, Mueller U, Maass H, Vejvoda M, Basner M. Effects of nocturnal aircraft noise on cognitive performance in the following morning: dose-response relationships in laboratory and field. Int Arch Occup Environ Health (2010) 83: 743-751.

Fragestellung:

Beeinträchtigung der kognitiven Funktion beim Erwachsenen durch nächtlichen Fluglärm in einer Laborstudie und einer Feldstudie.

Methoden:

In einer Laborstudie wurden insgesamt 112 Probanden im Alter von 19 bis 65 Jahren untersucht (noch weitere 16 in einer Kontrollgruppe). Alle Probanden mussten gesund sein und keine Schlaf- oder Hörstörungen haben. Die Probanden schliefen insgesamt 13 aufeinanderfolgende Nächte unter „Laborbedingungen“. Die erste Nacht diente der Adaptation an die neuen Schlafbedingungen und an das technische Equipment der Polysomnographie etc.. Die zweite Nacht fungierte als Baseline. In den folgenden Nächten wurden die Teilnehmer Fluglärm ausgesetzt mit einem maximalen Dauerschalldruckpegel zwischen 45 und 80 dB in 5 dB Schritten. Insgesamt wurden 4, 8, 16, 32, 64 oder 128 Lärmereignisse eingespielt. Die Lärmereignisse waren im Umfeld des Flughafens Düsseldorf aufgezeichnet worden.

In der Feldstudie wurden insgesamt 64 Teilnehmer rund um den Flughafen Köln/Bonn eingeschlossen. Dieser ist bekannt für ein hohes nächtliches Flug-Aufkommen. Die Teilnehmer wurden untersucht in Bezug darauf, dass sie hauptsächlich Fluglärm ausgesetzt sind (nur wenig Straßenlärm). Die Personen wurden in 9 Nächten zuhause untersucht. Der äquivalente Dauerschalldruckpegel wurde aussen (2 m vom Schlafzimmerfenster) gemessen und innen am Ohr des Teilnehmers. Die maximalen Dauerschalldruckpegel lagen hier innen zwischen 16 und 73 dB.

Die Computer-assistierten Testungen wurden bei beiden Testverfahren (Labor, Feld) am folgenden Morgen (vor Frühstück und Dusche durchgeführt. Zuvor hatten die Teilnehmer jeweils 40-mal geübt, um Übungs-Confounder auszuschliessen. Im **psychomotorischen Vigilanz Test (PVT)** mussten die Teilnehmer das Aufblinken am Computerscreen mit Knopfdruck beantworten. Die Reaktionszeit und Fehlalarme wurden registriert.

Beim **Erinnerungstest (MST)** mussten die Teilnehmer sechs Buchstaben lesen und nachfolgend jeweils entscheiden, ob eingespielte Buchstaben unter den erinnerten Buchstaben waren.

Confounder:

Die Teilnehmer wurden in einem mehrstufigen Verfahren mit Hilfe von Fragebögen, medizinischen Untersuchungen und Computertests ausgesucht, um mögliche Confounder auszuschließen.

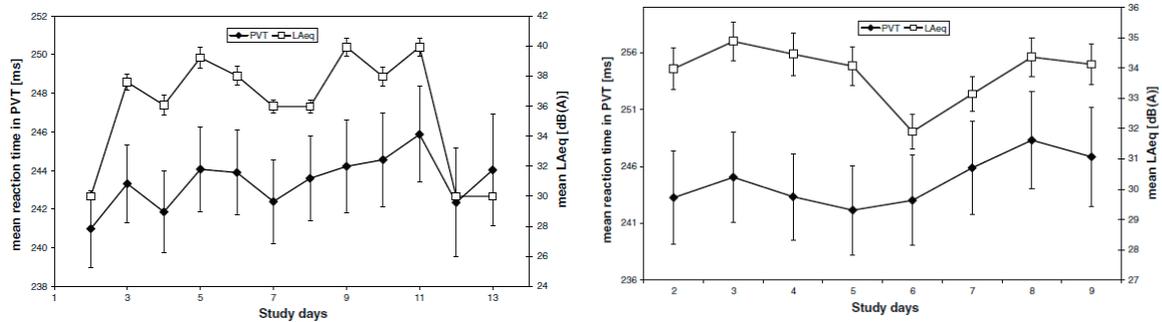
Ergebnisse:

Im psychomotorischen Vigilanztest (PVT) zeigte sich in der Laborstudie eine Beeinträchtigung der Reaktionszeit mit zunehmendem Dauerschalldruckpegel (0,13ms/dB) und mit Zunahme der Fluglärm-Ereignisse (0,02ms/Ereignis). In der Feldstudie stieg die Reaktionszeit um 0,3 ms/dB. Die Teilnehmer arbeiteten weniger akkurat nach nächtlicher Lärmbelastung.

Im Erinnerungstest zeigte sich eine starke Abhängigkeit des Testergebnisses im Verlauf der Zeit. Die mittlere Reaktionszeit verbesserte sich linear an jedem Tag um 2,6 ms bei der Laboruntersuchung. Ähnliches gilt für die Reaktionsrate. Auch die Rate falscher Alarme stieg über den Studienverlauf.

In der Feldstudie zeigte sich ebenfalls ein starker Einfluss der Studiennacht auf die Rate der falschen Alarme. Akustische Kriterien und auch die Studiennacht hatten keinen Einfluss auf die Reaktionszeit.

Abb. 30 Mittlere Reaktionszeit in der psychomotorischen Vigilanztestung (PVT) in der Laborstudie (links) und der Feldstudie (rechts) (Elmenhorst et al., 2010)



Schlussfolgerung der Autoren:

Einflüsse nächtlicher Lärmbelastung - gemessen als äquivalenter Dauerschalldruckpegel und Anzahl der Überflüge (Noise Events) - auf die kognitive Funktion am Tag waren gering, aber konsistent und statistisch signifikant.

Jedoch betonen die Autoren, dass sie nur (schlaf)gesunde Erwachsene Personen untersucht haben. Sie schließen nicht aus, dass bei Kindern, Älteren oder Kranken stärkere Effekte einer nächtlichen Fluglärmbelastung gefunden werden könnten.

Eriksson C, Bluhm G, Hilding A, Östenson CG, Pershagen G. Aircraft noise and incidence of hypertension – Gender specific effects. Environmental Research (2010) 110: 764-772

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und Fluglärm-Exposition (unter Betrachtung von Geschlechts-Unterschieden).

Methode:

Die Untersuchung war Teil einer breitangelegten schwedischen Analyse, dem Stockholm Diabetes Präventions-Programm. Grundsätzlich sollten Risikofaktoren für die Entwicklung eines Diabetes mellitus Typ 2 evaluiert werden. Durchgeführt wurden Erst- und Folge-Erhebungen im Abstand zwischen 8 bis 10 Jahren. Eingeschlossen wurden Personen im Stockholmer Umland. Bei der Erst-Untersuchung wurden Vorerkrankungen abgefragt, insbesondere für Diabetes auch für das familiäre Umfeld, um die Patienten entsprechend ihres Risikos für Typ-2-Diabetes in Gruppen einteilen zu können. Gewicht, Größe und Bauchumfang wurden gemessen. Es wurden ein oraler Glukosetoleranztest und eine Blutdruckmessung durchgeführt. Desweiteren wurde in ausführlichen Fragebogenerhebungen Details zu Lebensstilfaktoren, körperlicher Bewegung etc. abgefragt.

Bei der Folge-Untersuchung wurde ein ähnliches Prozedere gewählt. Zusätzlich wurden Fragen zur Belästigung durch Fluglärm, Lärmsensitivität und zur Neudiagnose von Bluthochdruck gestellt bzw. entsprechende Medikation. Es konnten letztlich Datensätze von 4.721 Personen im Alter zwischen 35 und 56 Jahren ausgewertet werden.

Die Lärmexposition wurde mit einem geographischen Informations-System adressgenau errechnet für den Zeitbereich 1997-2002. Personen, die mehrere Adressen angaben, wurden gemittelt für die Adressen berechnet.

Durchführungszeitraum:

Zwischen 1992 und 2006

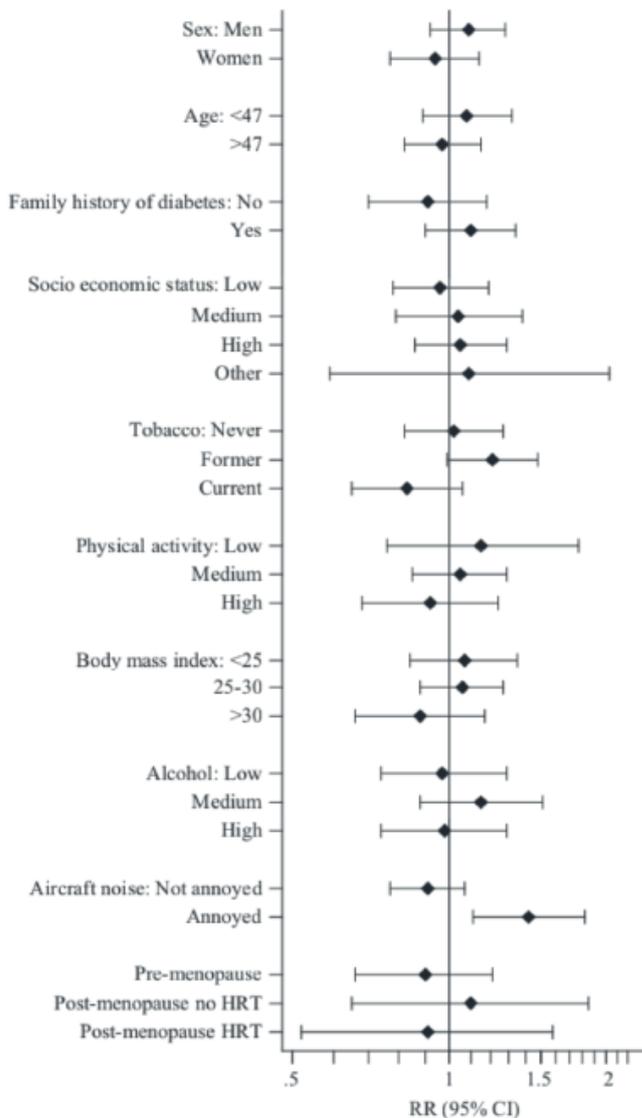
Confounder:

Als Confounder wurden Faktoren betrachtet, für die eine Beeinflussung der Inzidenz von Bluthochdruck bekannt sind: Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status (Berufsstatus), Body-Mass-Index, Rauchen.

Ergebnisse:

In der Gesamtgruppe zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen hoher Fluglärmexposition ($L_{den} > 50$ dB) und dem Risiko für Bluthochdruck (relatives Risiko 1,02). Nach Korrektur für den Confounder Rauchen zeigte sich bei den Männern (nicht bei den Frauen) eine signifikante Risikozunahme mit einer Odds ratio von 1,21 für 5 dB mehr Fluglärm. Bei beiden Geschlechtern zusammen zeigte sich eine Risikozunahme für Bluthochdruck bei den Teilnehmern, die „Belästigung durch Fluglärm“ angaben (OR 1,42).

Abb. 31 Relatives Risiko für Bluthochdruck im Zusammenhang mit Fluglärmexposition (>50 dB L_{den}) (Eriksson et al., 2010)



Schlussfolgerung der Autoren:

„Diese Studie gibt Hinweise für einen Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und Bluthochdruck bei Männern, nicht bei Frauen. Der Geschlechtsunterschied zeigte sich statistisch nicht signifikant. Es bleibt unklar, ob dies auf Geschlechtsunterschiede in der Pathogenese von Lärm-induziertem Bluthochdruck zurückzuführen ist oder ob methodische Unterschiede dafür verantwortlich sind.“

In der Kombination beider Geschlechter zusammen zeigte sich ein deutlicher Einfluss der individuell empfundenen Belästigung durch Fluglärm auf das Risiko für Bluthochdruck. Dementsprechend könnten stark durch Lärm belästigte Personen als eine besonders sensitive Subgruppe angesehen werden.“

Eriksson C, Hilding A, Pyko A, Bluhm G, Pershagen G, Östenson C-G. Long-Term Aircraft Noise Exposure and Body Mass Index, Waist Circumference, and Type 2 Diabetes: A Prospective Study. Environmental Health Perspectives (2014) 122: 687–694.

Fragestellung:

Einfluß einer Langzeitbelastung durch Fluglärm auf Body-Mass-Index, Bauchumfang und Typ-2 Diabetes mellitus, Betrachtung insbesondere des Einflussfaktors Schlafqualität.

Methoden:

Im Studiendesign einer prospektiven Kohortenstudie wurden insgesamt 5.156 Personen im Rahmen des Stockholm-Diabetes-Präventions-Programms beobachtet. Grundsätzlich war das Ziel der Gesamtuntersuchung, Risikofaktoren für die Entwicklung eines Typ-2 Diabetes zu evaluieren. Dazu wurden in 5 schwedischen Kommunen/Landstrichen initial 3.128 Männer und 4.821 Frauen im Alter zwischen 35 und 56 Jahren eingeschlossen, jeweils ca. die Hälfte mit und ohne familiäre Belastung mit Diabetes. Personen mit bekanntem Diabetes wurden ausgeschlossen. Es wurde initial (1992-1996 Männer, 1996-1998 Frauen) eine Fragebogenerhebung und ein oraler Glukosetoleranztest (OGTT) durchgeführt, um einen latenten oder manifesten Diabetes auszuschliessen. Nach 8 bis 10 Jahren erfolgte eine Nachuntersuchung (ausgenommen Personen, die verstorben waren, die aus den entsprechenden Landstrichen weggezogen waren oder bei denen initial ein Diabetes diagnostiziert worden war). Blutdruck, Körpergröße und Gewicht wurden gemessen, um den BMI zu berechnen, und ein oraler Glukosetoleranztest wurde durchgeführt.

Die Zuordnung zur Lärmbelastung erfolgte per schwedischer Lärmkartierung unter Verwendung der im Fragebogen angegebenen Adresse auf 1 dB genau in 24h-Dauerschallpegeln.

Durchführungszeitraum:

Die Beobachtung der Teilnehmer fand zwischen 1992 und 2006 statt. Die Lärmdaten wurden 1997-2002 erhoben. Mehrbelastungen durch eine zusätzliche Landebahn des Flughafens Stockholm seit 2003 konnten nicht in die Berechnung einbezogen werden. Sie wurden vernachlässigt, da sie nur eine kleine Anzahl der Teilnehmenden betrafen und erst zu einem späteren Zeitpunkt in der Studiendurchführung stattfanden.

Confounder:

Die Confounder Alter, Geschlecht, familiäre Belastung mit Diabetes, körperliche Aktivität, Tabakkonsum und psychologische Beeinträchtigungen wurden betrachtet. Desweiteren wurden Adresswechsel als Confounder berücksichtigt. Informationen über die Belästigung durch Fluglärm wurden erhoben.

Ergebnisse:

Nach Adjustierung für alle Confounder zeigte sich für den BMI kein Zusammenhang zur Fluglärmbelastung. Der Bauchumfang war in allen Modellen statistisch signifikant assoziiert mit der Fluglärmbelastung. Es zeigte sich eine Zunahme des Bauchumfangs um 1,51 cm pro 5 dB Zunahme der Belastung. Für die Inzidenz von Typ-2 Diabetes oder Prädiabetes zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zur Fluglärmbelastung.

Tab. 23 Zusammenhang zwischen Fluglärm-Exposition und Body-Mass-Index (BMI) bzw. Bauchumfang zwischen Erstuntersuchung und Follow-up (Eriksson et al., 2014) (*signifikant)

Fluglärm-Exposition	BMI	Bauchumfang
2 Variablen, dB		
Alle Teilnehmer		
<50	0 (Referenz)	0 (Referenz)
≥50 vs < 50	0,05	1,34
Männer		
≥50 vs. <50	0,11	1,93
Frauen		
≥50 vs. <50	0,05	2,26*
3 Kategorien, dB		
Alle Teilnehmer		
50-54 vs. <50	0,08	1,31
≥55 vs. <50	-0,08	1,51
Männer		
50-54 vs. <50	0,16	1,8
≥55 vs. <50	-0,12	2,41
Frauen		
50-54 vs. <50	0,04	2,29*
≥55 vs. <50	0,11	2,09
6 Kategorien		
Alle Teilnehmer	0,04	1,51*
Männer	0,07	2,26*
Frauen	0,05	1,58*

Tab. 24 Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und Inzidenz von Prädiabetes, Typ-2 Diabetes mellitus und der Kombination aus Prädiabetes und Typ-2 Diabetes (alle nicht sig.) (Eriksson et al., 2014)

	Fluglärm-exposition	N	Prä-diabetes n (%)	Prä-diabetes OR	Typ-2 Diabetes (%)	Typ-2 Diabetes OR	Kombinierte OR
2 Variablen, dB							
Alle Teilnehmer	<50	4.506	360 (8)	1	133 (3)	1	1
	≥50	650	52 (8)	0,86	26 (4)	0,98	0,87
Männer	<50	1.783	205 (12)	1	88 (5)	1	1
	≥50	308	31 (10)	0,89	14 (5)	0,73	0,81
Frauen	<50	2.723	155 (6)	1	45 (2)	1	1
	≥50	342	21 (6)	0,86	12 (4)	1,73	1,07
3 Kategorien, dB							
Alle Teilnehmer	<50	4.506	360 (8)	1	133 (3)	1	1
	50-54	534	40 (7)	0,8	22 (4)	1,0	0,83
	≥55	116	12 (10)	1,15	4 (3)	0,94	1,06
Männer	<50	1.783	205 (12)	1	88 (5)	1	1
	50-54	252	24 (10)	0,84	13 (5)	0,83	0,82
	≥55	56	7 (13)	1,08	1 (2)	0,31	0,77
Frauen	<50	2.723	155 (6)	1	45 (2)	1	1
	50-54	282	16 (6)	0,79	9 (3)	1,51	0,95
	≥55	60	5 (8)	1,23	3 (5)	2,78	1,62
6 Kategorien							
Alle Teilnehmer		5.156	412 (8)	0,91	159 (3)	1,03	0,93
Männer		2.091	236 (11)	0,92	102 (5)	0,92	0,91
Frauen		3.065	176 (6)	0,89	57 (4)	1,27	0,99

Schlussfolgerung der Autoren:

Eine Zunahme des Bauchumfangs war in dieser Studie statistisch signifikant assoziiert mit der Fluglärmbelastung (nicht der BMI und die Diabetes-Inzidenz). Dieser Zusammenhang war besonders ausgeprägt bei den Teilnehmern, die keinen Wohnortwechsel während der Studienzeit hatten. Dieses könnte ein Hinweis sein für eine geringere Expositions-Fehlklassifikation in diesen Fällen (ohne Wohnortwechsel).

Die Autoren schließen, dass die Zunahme des Bauchumfangs auf einen Zusammenhang zwischen Fluglärm und metabolischen Effekten -besonders der zentralen Adipositas- hindeuten kann. Jedoch halten sie größere Untersuchungen für erforderlich, um diese Assoziation zu bestätigen.

Evrard A, Lefevre M, Champelovier P, Lambert J, Laumon B. Does aircraft noise exposure increase the risk of hypertension in the population living near airports in France? Occup Environ Med. (2016) 01/Aug/2016 (nur online Version verfügbar)

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Fluglärm und Bluthochdruck bei Männern und Frauen in Frankreich.

Methoden:

Untersucht wurden 1.244 Teilnehmer über 18 Jahre, die zum Zeitpunkt der Untersuchung im Umfeld einer der drei großen französischen Verkehrsflughäfen lebten: Paris, Toulouse und Lyon. Die Teilnehmer wurden entsprechend aktueller Fluglärm-Konturkarten entsprechend dem Dauerschalldruckpegel L_{DEN} eingeteilt in Lärmgruppen: <50 dB, 50-54 dB, 55-59 dB und >60 dBA. In jeder Lärmgruppe sollten wenigstens 300 Personen eingeschlossen werden. Es wurden Daten zu Gewicht, Größe und dem Bauchumfang erhoben. Zum Zeitpunkt des persönlichen Interviews fanden Blutdruckmessungen statt. Die Teilnehmer wurden als an Bluthochdruck leidend klassifiziert, wenn die Messungen die angegebenen Cut-off-Werte (140/90 mmHG) überstiegen und/oder ein Arzt Bluthochdruck diagnostiziert hatte und/oder Blutdruckmedikamente eingenommen wurden.

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet: Alter, BMI, körperliche Aktivität, Bildungsstand und Alkoholkonsum. Desweiteren wurde der Einfluss von Rauchen, Geburtsland, finanzielle Schwierigkeiten, Stress, Lebens-Events, Belästigung durch Fluglärm, nächtliches Erwachen, Lärmsensitivität und Eigenschaften des Wohnhauses betrachtet. Diese zeigten jedoch in der multivariaten Analyse keine signifikanten Zusammenhänge und wurden daher nicht im finalen Modell eingefügt.

Durchführungszeitraum:

Die Erhebung fand im Jahr 2013 statt.

Ergebnisse:

Nach Adjustierung für die beschriebenen Confounder konnte eine Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen dem Risiko für Bluthochdruck und der nächtlichen Fluglärmbelastung bei Männern (nicht bei Frauen) nachgewiesen werden. Ein Zuwachs von 10 dB war mit einer Risikozunahme von 1,34 assoziiert.

Tab. 25 Effekte der Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dB auf den Bluthochdruck und den systolischen und diastolischen Blutdruck bei Männern (Evrard et al., 2016)

Exposition	Bluthochdruck adjustiert für Alter, BMI, sport. Aktivität, Alkohol- konsum, berufl. Aktivität		Diastolischer Blutdruck adjustiert für Alter, BMI, sportl. Aktivität, Alkohol- konsum, berufl. Aktivität und Medikation		Systolischer Blutdruck adjustiert für Alter, BMI, sportl. Aktivität, Alkohol- konsum, berufl. Aktivität und Medikation	
	OR	p-Wert	OR	p-Wert	OR	p-Wert
L_{den}	1,48	0,04	1,86	0,01	2,37	0,04
$L_{Aeq, 16h}$	1,34	0,1	1,51	0,03	2,19	0,05
L_{Nacht}	1,34	0,04	1,67	0,01	2,17	0,04

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Ergebnisse der französischen DEBATS Studie unterstützen andere Studienergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung in der Nacht bei Männern und Bluthochdruck fanden.

Evrard A, Bouaoun L, Champelovier P, Lambert J, Laumon B. Does exposure to aircraft noise increase the mortality from cardiovascular disease in the population living in the vicinity of airports? Results of an ecological study in France. *Noise and Health* (2015) 17 (78) 328-336.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Lärmexposition am Wohnort und Tod durch kardiovaskuläre Erkrankungen, Koronarsyndrom, Herzinfarkt und Schlaganfall in Daten des nationalen französischen Melderegisters.

Methoden:

Inhalt dieser Arbeit ist die Analyse des nationalen französischen Melderegisters auf Todesursachen durch kardiovaskuläre Erkrankungen (koronares Herzsyndrom, Herzinfarkt) und Schlaganfall in Abhängigkeit von der Lärmbelastung. In diese Untersuchung wurden die Daten aus 161 französischen Kommunen im Umfeld dreier großer französischer Flughäfen (Paris, Lyon, Toulouse) einbezogen. Es ist davon auszugehen, dass im Jahr 2009 ca 1,9 Millionen Menschen in den teilnehmenden Kommunen lebten.

Die Lärmbelastungsdaten wurden von der französischen Flugüberwachungsgesellschaft zur Verfügung gestellt. Für die Wohnorte der Teilnehmer wurde der äquivalente Schalldruckpegel für 24h (L_{den} AEI) berechnet.

Durchführungszeitraum:

Die Todesursachen wurden für den Zeitraum von 2007-2010 ausgewertet. Die Erhebung der Lärmexposition erfolgte laut Lärmmodell für Paris von 2008, für Lyon von 2003 und für Toulouse von 2004. Es wurden die Luftbelastungsdaten von 2008-2010 genutzt.

Confounder:

Es wurde für die möglichen Confounder Geschlecht, Alter, Bevölkerungsdichte und Tod durch Lungenkrebs (Hinweis für starken Tabakkonsum) adjustiert und ein sogenannter Armutsindex berechnet.

Ergebnisse:

Die Anzahl der in die Analysen eingegangen Verstorbenen wird nicht genannt. Es werden ausschließlich die Zusammenhangsanalysen vorgestellt. In einem Poisson-Regressions-Modell wurden statistisch signifikante Zusammenhänge nachgewiesen zwischen der Fluglärmbelastung am Wohnort und der Mortalität (Todesrate) durch kardiovaskuläre Erkrankungen (OR 1,18), koronares Herzsyndrom (OR 1,24) und Herzinfarkt (OR 1,28) (alle signifikant). Auch nachdem verschiedene Confounder, einschließlich der Luftbelastung, berücksichtigt worden waren, blieben die Zusammenhänge signifikant.

Tab. 26 Adjustierte Mortalitäts Odds Ratio für Modelle ohne Luftbelastungsparameter (Mortalität per 10 dB Ansteigen des L_{den}) (Evrard et al. 2015)

	Kardiovaskuläre Erkrankungen	Koronare Herzerkrankung	Herzinfarkt	Schlaganfall
L_{den}	1,18	1,24	1,28	1,08
Geschlecht	1,04	1,00	1,02	1,01
Alter (Jahren)	1,11	1,1	1,08	1,15
Bevölkerungsdichte	0,93	0,94	0,87	0,96
„Mangel“ Index	1,07	1,07	1,1	1,08
Mortalität Lungenkrebs	1,01	1,00	0,99	1,02

Schlussfolgerung der Autoren:

Diese groß angelegte Untersuchung unterstützt die These, dass ein Zusammenhang zwischen Fluglärmaxposition und der Mortalität an kardiovaskulären Erkrankungen besteht. Ein Einfluß von weiteren Confoundern ist jedoch bei dem Studiendesign nicht auszuschließen.

Floud S, Blangiardo M, Clark C, de Hoogh K, Babisch W, Houthuijs D, Swart W, Pershagen G, Katsoouyanni K, Velonakis M, Vigna-Taglianti F, Cadum E, Hansell A. Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: a cross-sectional study (2013) 12:89.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Flug- und Straßenverkehrslärm und kardiovaskulären Erkrankungen, mögliche Beeinflussung des Zusammenhangs durch den Parameter Luftverschmutzung (NO₂).

Methode:

In der multizentrischen und multinationalen HYENA Studie (s. S.55) nahmen 4.712 Personen (276 Fälle) (45-70 Jahre) aus 6 europäischen Ländern teil (Großbritannien, Deutschland, Niederlande, Schweden, Italien, Griechenland). Alle wohnten in räumlicher Nähe zu einem großen Verkehrsflughafen. Die Exposition wurde dargestellt in Expositions-Wirkungsbeziehungen mit dem äquivalenten Dauerschalldruckpegel (Tag, Nacht, 24 h). Die Probanden wurden in persönlichen Interviews anhand einer 11-stufigen Belästigungsskala (ICBEN) befragt. Desweiteren wurden Gesundheitszustand, diagnostizierte Erkrankungen und Medikamentenverbrauch erhoben.

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet: Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand. In drei Ländern (Großbritannien, Niederlande, Schweden) wurde auch die NO₂-Belastung als Confounder berücksichtigt.

Durchführungszeitraum:

Der Expositionsparameter Lärm wurde 2002 erhoben. Interviews und Blutdruckmessungen wurden zwischen 2004 und 2006 durchgeführt.

Ergebnisse:

Ein Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm und „Herz-Kreislauf-Erkrankungen incl. Schlaganfall“ zeigte sich auch nach Adjustierung für soziodemographische Faktoren für alle Teilnehmer, die länger als 20 Jahre am selben Wohnort lebten (OR: 1,25 für Zunahme des Schalldrucks um 10 dB). Auch nach Adjustierung für den Faktor Luftverschmutzung (NO₂) war der Zusammenhang in Großbritannien und den Niederlanden (nicht in Schweden) noch vorhanden.

Der 24h äquivalente Dauerschalldruckpegel für Straßenlärm zeigte ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang zu „Herz-Kreislauf-Erkrankungen incl. Schlaganfall“ (adjustiertes OR=1,19). Nach Adjustierung für die Belastung durch Stickstoffdioxid zeigte sich eine starke Beeinflussung durch diesen Faktor. In der Korrelationsanalyse zwischen Lärm und NO₂ war nur eine schwache Kollinearität nachweisbar.

Schlussfolgerung der Autoren:

Diese Studie gibt laut Autoren weitere Hinweise darauf, dass ein Zusammenhang zwischen der Langzeit-Exposition mit Fluglärm und einer Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (nicht nur Bluthochdruck) besteht. Der Zusammenhang zwischen Straßenlärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen wird wahrscheinlich auch durch den Faktor Luftverschmutzung (NO₂) beeinflusst.

Tab. 27 Analyse der Subgruppen: Zusammenhang zwischen Fluglärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen adjustiert für Luftverschmutzung (Floud et al., 2013)

Herz-Kreislauf, Schlaganfall	Fluglärm am Tag 10dB mehr	Fluglärm nachts 10dB mehr	24h Straßenlärm 10dB mehr
alle 4712 Personen, 275 Fälle			
Rohdaten	1,09	1,18*	1,21*
Adjustiert für Alter, Geschlecht, BMI, Bildung, Ethnie	1,05	1,12	1,18*
Adjustiert für Alter, Geschlecht, BMI, Bildung, Ethnie und andere Lärmquellen	1,06	1,12	1,19*
GB und Niederlande: 1.411 Personen, 84 Fälle			
Rohdaten (adjustiert nur für Land)	1,3	1,22	1,32
Adjustiert für Confounder	1,17	1,14	1,28
Adjustiert zusätzlich für NO ₂	1,24	1,22	0,93
Schweden: 990 Personen, 53 Fälle			
Rohdaten (adjustiert nur für Land)	0,71	1,01	1,21
Adjustiert für Confounder	0,73	0,88	1,08
Adjustiert zusätzlich für NO ₂	0,74	0,93	0,99
>20 Jahre Wohnort			
Alle 2236 Personen, 154 Fälle			
Rohdaten	1,17	1,36*	1,20
Adjustiert für Alter, Geschlecht, BMI, Bildung, Ethnie	1,11	1,24*	1,19
Adjustiert für Alter, Geschlecht, BMI, Bildung, Ethnie und andere Lärmquellen	1,11	1,25*	1,20
GB und Niederlande: 828 Personen, 52 Fälle			
Rohdaten (adjustiert nur für Land)	1,3	1,38*	1,51
Adjustiert für Confounder	1,19	1,33	1,49
Adjustiert zusätzlich für NO ₂	1,25	1,43*	1,14
Schweden: 480 Personen, 35 Fälle			
Rohdaten (adjustiert nur für Land)	0,93	1,37	0,95
Adjustiert für Confounder	1,02	1,29	0,80
Adjustiert zusätzlich für NO ₂	1,03	1,36	0,72

*signifikant

Floud S, Vigna-Taglianti F, Hansell A, Blangiardo M, Houthuijs D, Breugelmans O, Cadum E, Babisch W, Selander J, Pershagen G, Antoniotti M, Pisani S, Dimakopoulou K, Haralabidis A, Velonakis V, Jarup L. Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study. *Occup Environ Med* (2011) 68: 518-24

Fragestellung:

Beeinflusst die Exposition durch Verkehrslärm (Flug-, Straßenverkehrslärm) den Verbrauch von verschreibungspflichtigen Medikamenten (Blutdruckmedikamente, angstlösende Medikamente, Säureblocker, Antidepressiva, Schlafmittel, Asthmamedikamente)?

Methode:

In der multizentrischen HYENA Studie (s. S. 55) nahmen 4861 Personen aus 6 europäischen Ländern teil, die in räumlicher Nähe zu einem großen Verkehrsflughafen wohnten. Sie wurden in persönlichen Interviews zu ihrem Gesundheitszustand, diagnostizierten Erkrankungen und Medikamentenverbrauch sowie zur Lärmbelastigung anhand einer 11-stufigen Belästigungsskala (ICBEN) befragt. Für 4642 der Teilnehmer lagen vollständige Datensätze zur Medikation vor. Die Exposition wurde dargestellt in Expositions-Wirkungsbeziehungen mit dem äquivalenten Dauerschalldruckpegel (Tag, Nacht, 24 h).

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand.

Durchführungszeitraum:

Der Expositionsparameter Lärm wurde 2002 erhoben. Interviews und Blutdruckmessungen wurden zwischen 2003 und 2005 durchgeführt.

Ergebnisse:

Ein signifikanter Zusammenhang zeigte sich lediglich für Großbritannien und die Niederlande in Bezug auf den Verbrauch von Blutdruckmedikamenten in Abhängigkeit vom Fluglärm an der Wohnadresse. In Italien zeigte sich interessanterweise eine negative Expositions-Wirkungsbeziehung. Das bedeutet, das Risiko für die Einnahme von Blutdruckmedikamenten erniedrigte sich mit steigendem Lärmpegel. Alle anderen Medikamentengruppen zeigten in keinem der teilnehmenden Länder einen signifikanten Zusammenhang zu Lärmexposition durch Fluglärm.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Autoren schlussfolgern aus dieser Arbeit auf einen Zusammenhang zwischen Fluglärm und einem vermehrten Verbrauch von Blutdruckmedikamenten, auch wenn sich dieser Trend nicht in allen Ländern zeigen ließ. Die Ergebnisse zeigten mehr Übereinstimmung der Länder untereinander in Bezug auf die Verschreibungen von Angstlösern im Zusammenhang mit Fluglärm und zwischen Straßenlärm und Säureblockern bei Männern. Es zeigten sich keine Zusammenhänge zwischen Lärmpegeln und Beruhigungsmitteln (Hypnotika), Antidepressiva oder Asthmamedikamenten.

Tab. 28 Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von Blutdruckmedikamenten und der Zunahme der Fluglärm-Belastung um 10 dB in verschiedenen Ländern (HYENA) (Floud et al., 2011)

Medikamentengruppe	Lärmquelle	Land	OR	n
Blutdruckmedikamente	L _{Aeq 16h} Fluglärm	Großbritannien	1,35*	584
		Deutschland	1,08	969
		Niederlande	1,12*	871
		Schweden	0,89	991
		Griechenland	1,09	615
		Italien	0,82	612
	L _{Aeq Nacht} Fluglärm	Großbritannien	1,34*	584
		Deutschland	1,05	969
		Niederlande	1,19*	871
		Schweden	1,05	990
		Griechenland	1,03	615
		Italien	0,85	612

***signifikant**

Tab. 29 Zusammenhang zwischen dem Verbrauch verschiedener Medikamente und der Lärmbelastung durch verschiedene Lärmquellen (Straßen- und Fluglärm, Tag/Nacht, 24h) in allen 6 Ländern, die an der HYENA-Untersuchung teilgenommen haben (Floud et al., 2011)

Medikamentengruppe	Lärmquelle	OR
Blutdruckmedikamente	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	0,98
Säureblocker	L _{Aeq 16h} Fluglärm	1,01
	L _{Aeq nachts} Fluglärm	1,10
	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	1,16
Angstlöser, Beruhigungsmittel	L _{Aeq 16h} Fluglärm	1,14
	L _{Aeq nachts} Fluglärm	1,10
	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	1,11
Angstlöser	L _{Aeq 16h} Fluglärm	1,28*
	L _{Aeq nachts} Fluglärm	1,27*
	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	1,06
Beruhigungsmittel	L _{Aeq 16h} Fluglärm	0,96
	L _{Aeq nachts} Fluglärm	0,90
	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	1,28*
Antidepressiva	L _{Aeq 16h} Fluglärm	1,07
	L _{Aeq nachts} Fluglärm	0,96
	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	0,97
Asthmamedikamente	L _{Aeq 16h} Fluglärm	1,05
	L _{Aeq nachts} Fluglärm	1,03
	L _{Aeq 24h} Straßenlärm	1,01

***signifikant**

Gille L, Marquis-Favre C, Morel J. Testing of the European Union exposure-response relationships and annoyance equivalents model for annoyance due to transportation noises: The need of revised exposure-response relationships and annoyance equivalents model. Environment International (2016) 94: 83-94.

Fragestellung:

Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen der Kombination aus mehreren Verkehrslärmquellen und Belästigung.

Methoden:

Es wurde in acht französischen Städten eine Erhebung zur Belästigung durch Verkehrslärm durchgeführt. 823 Personen im Alter zwischen 18-80 Jahren wurden in einem persönlichen Interview befragt zu möglichen Confoundern sowie zur Lärmbelästigung durch unterschiedliche Lärmquellen und zur Gesamtbelästigung. Die Belästigung wurde auf einer Skala von 0 bis 10 erhoben. Da die zum Vergleich herangezogene Arbeit von Miedema et al. andere Skalenbereiche nutzte, wurden beide in Werte zwischen 0 und 100 umgerechnet. Als Cut-off Werte für geringe, mittlere und hohe Belästigung galten die Punktwerte 28, 50 und 72.

Die tatsächliche Lärmbelastung wurde Lärmkonturkarten entnommen, angefertigt im Jahr 2012. Es wurde für den jeweiligen Wohnort die Lärmbelastung für jede Lärmart isoliert erhoben und zwar im äquivalenten Dauerschalldruckpegel L_{DEN} für einen durchschnittlichen Tag.

Confounder:

Im Fragebogen wurden Fragen zur Nachbarschaft, Umweltfragen, Lärmsensitivität etc. erhoben.

Durchführungszeitraum:

2012

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Die bestehenden Expositions-Wirkungsbeziehungen von Miedema et al. (2001) wurden in der hier vorliegenden Studie überprüft auf die Übereinstimmung mit der französischen Erhebung aus dem Jahr 2012. Eine gute Vorhersagbarkeit der aktuellen Studienergebnisse anhand der Kurven zeigte sich lediglich für die stark Belästigten in Bezug auf Straßenverkehrslärm. Für die mittel- und wenig Belästigten (durch Straßenverkehrslärm) war die Übereinstimmung gering. In Bezug auf Flug- und Schienenlärm zeigte sich ebenfalls keine zufriedenstellende Übereinstimmung. Aus diesem Grund wurden die Daten der vorliegenden Untersuchung zur Generierung neuer Expositions-Wirkungskurven herangezogen. Dieses Modell lässt auch für die Kombination mehrerer Verkehrslärmarten eine gute Vorhersagbarkeit zu.

Abb. 32 Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärm-
belastung und Belästigung von Miedema et al. 2001, gemessene Prozentwerte sind abgebildet
als Kreuze (Gille et al. 2016)

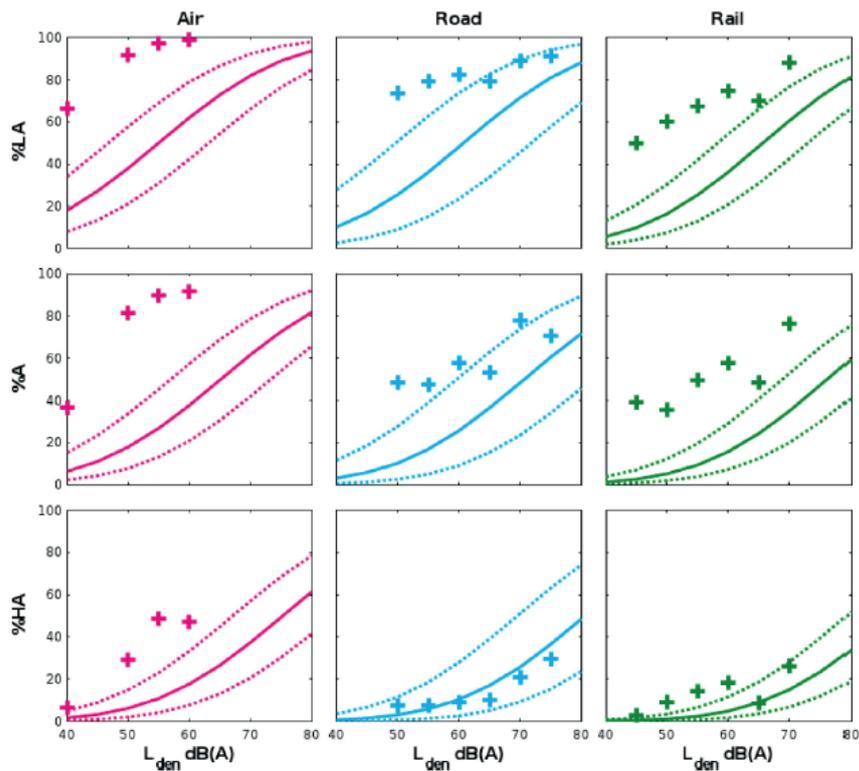
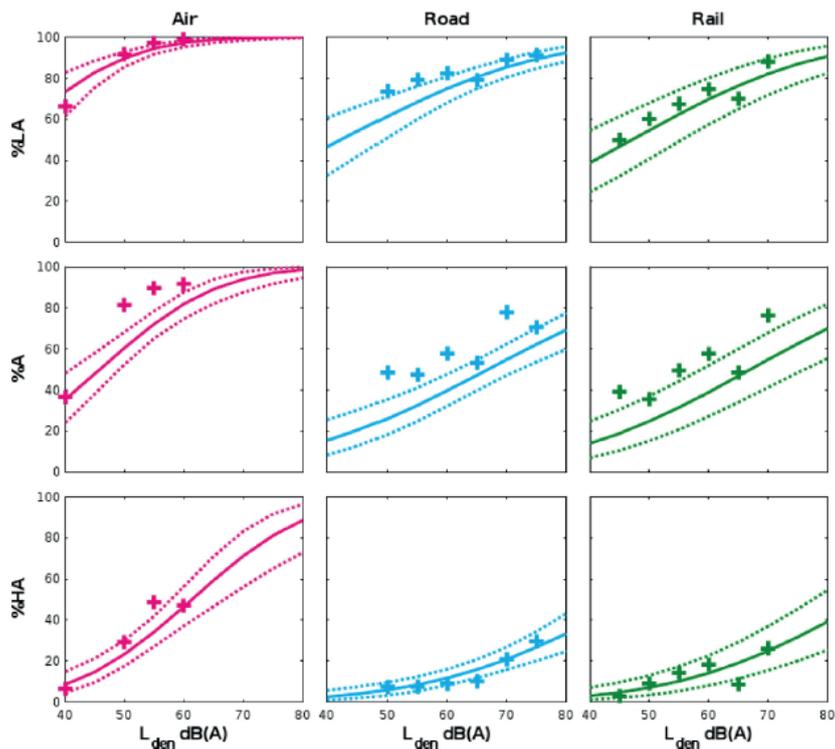


Abb. 33 Neue Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärm-
belastung und Belästigung, Kreuze markieren die gemessenen Prozentwerte (Gille et al.
2016)



Gjestland T, Gelderblom F, Granoien I. Noise surveys at five Norwegian airports. Kongressbeitrag: Internoise Hamburg 2016.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Belästigung und Fluglärmexposition an sogenannten "high rate of change" (HRC) und "low rate of change" (LRC) Flughäfen in Norwegen.

Methoden:

In der Umgebung von fünf norwegischen Flughäfen wurde eine Erhebung zur Belästigung in Abhängigkeit von der Lärmexposition durchgeführt. Die Teilnehmer mussten zum Zeitpunkt der Erhebung wenigstens 16 Jahre alt sein und wenigstens ein Jahr an der aktuellen Adresse leben. Es wurden jeweils 300 Personen telefonisch befragt (insgesamt 1.504). Die Teilnehmer beantworteten die Frage nach dem Grad der Belästigung durch Fluglärm sowohl auf der 5-stufigen ICBEN-Skala als auch auf der 11-stufigen. Die Lärmexposition wurde adresssgenau erhoben für die letzten 12 Monate vor dem Interview.

Ein besonderer Schwerpunkt dieser Untersuchung lag auf der Unterteilung der Teilnehmer in Anwohner von sogenannten „Low Rate Change“ Flughäfen und „High Rate Change“ Flughäfen. „High Rate Change“ Flughäfen wurden als solche definiert, wenn sich die Flugbewegungen entweder innerhalb der 3 Jahre vor Untersuchung bzw. planungsgemäß in den drei Jahren nach der Untersuchung entscheidend änderten, oder wenn der Untersuchung in den vergangenen 3 Jahren eine öffentliche Diskussion zu Umbaumaßnahmen vorausging. Nach dieser Definition war in der hier vorliegenden Studie nur ein Flughafen ein „HRC“ (Oslo), die anderen waren als „Low Rate Change“-Flughäfen eingestuft.

Zur Auswertung wurde desweiteren das Konzept „Community tolerance level“ CTL genutzt. Dieses ist definiert als der Lärmpegel, bei dem die Hälfte der Bevölkerung „stark belästigt“ ist. Entwickelt wurde das Konzept von Fidell et al. (2011). Der durchschnittliche CTL in den von Fidell genutzten Studien lag bei 73,3 dB. Die Expositions-Wirkungskurve ähnelt der von Miedema et al. 1998. Daher kann davon ausgegangen werden, dass ein CTL >73,3 dB für eine höhere Toleranz in der untersuchten Bevölkerung spricht.

Betrachtet wurde in dieser Studie ebenfalls die Anzahl an Überflügen.

Durchführungszeitraum:

Mai 2014 – Mai 2015

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden erfragt Geschlecht, Alter, prozentualer Anteil Aufenthalt in der Wohnung/Tag, Flughafen Angestellter, Wohnungseigentümer.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Die beschriebene CTL-Analyse zeigte, dass die Anwohner der vier LRC-Flughäfen zwischen 7-10 dB höhere Geräuschpegel tolerieren als in der EU-Kurve, die Anwohner des HRC-Flughafens in Oslo gaben bei ca 5 dB niedrigeren Werten eine starke Belästigung an, sie tolerierten dennoch 3 dB mehr als nach der EU-Kurve zu erwarten war.

Tab. 30 Flugpassagiere, Flugbewegungen und Community Tolerance Level (CTL Werte) für fünf norwegische Flughäfen (Gjestland et al., 2016)

Art des Flughafens	Flughafen	Passagiere / Jahr	Flugbewegungen / Jahr	CTL dB	CTL Δ dB Unterschied zur EU-Kurve
High Rate Change	Oslo – Gardemoen	24.230.000	248.550	68	-5
Low Rate Change	Stavanger Sola	4.710.000	93.916	80	+7
	Trondheim - Vaernes	4.409.000	64.981	82	+9
	Bodo	1.703.000	54.824	81	+8
	Tronso-Lagnes	2.002.000	46.633	83	+10

CTL: Lärmpegel, bei dem die Hälfte der Bevölkerung „stark belästigt“ ist

Es zeigte sich desweiteren ein Zusammenhang zwischen der Zahl der Überflüge >55 dB und dem Grad der Belästigung.

Die Belästigung durch nächtliche Lärmbelastung war stark assoziiert mit der Gesamtbelästigung. Dieses spricht laut Autoren dafür, dass nächtlicher Fluglärm an den beobachteten Flughäfen kein spezifischer (zusätzlicher) Faktor für die Belästigung darstellt.

Lärm im Sommer wurde als belästigender eingestuft als im Winter. Fast alle Anwohner, die den Wunsch nach einem Wohnungswechsel äußerten, gaben auch bei der Belästigung Punktwerte in der oberen Hälfte an, jedoch nur die Hälfte der Personen klassifizieren sich selbst als stark belästigt.

Gjestland T, Nguyen TL, Yano T. Community response to noise in Vietnam: Exposure-response relationships based on the community tolerance level. J Acoust Soc Am (2015) 137 (5): 2596-2601

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Belästigung und Fluglärm bzw. Straßenverkehrslärm in Vietnam.

Methoden:

Es wurden Sozialerhebungen im Sinne von persönlichen Interviews im Umfeld dreier Verkehrsflughäfen in Vietnam durchgeführt. Desweiteren wurden Teilnehmer (> 16 Jahre) aus 5 Städten unter anderem zu ihrer Belästigung durch Straßenverkehrslärm befragt. Im Fragebogen wurden die Teilnehmer sowohl auf einer 5-stufigen Belästigungsskala als auch auf einer 11-stufigen (ICBEN-Skala) befragt. Die Fragebogen unterschieden sich nur in Bezug auf die abgefragte Lärmquelle (Straße bzw. Flugverkehr).

Die Fluglärmbelastung wurde ermittelt anhand von Messungen an einer Stelle des erhobenen Gebietes, die repräsentativ für dieses Gebiet in Bezug auf die Fluglärmbelastung sein soll. An sieben aufeinanderfolgenden Tagen wurden Messungen durchgeführt. Durch Abgleich mit dem jährlichen Flugaufkommen wurde abgeklärt, ob der erhobene Wert repräsentativ für das Gesamtjahr ist. Die Straßenverkehrs-Lärmbelastung wurde im Zeitraum der Untersuchung an jeweils einer repräsentativen Stelle des Wohnblocks gemessen.

Confounder:

Angaben zur Betrachtung von Confoundern fehlen.

Durchführungszeitraum:

Fluglärm-Befragungen: Aug. – Sep. 2009 (Hanoi Flughafen), Aug.-Sep. 2008 (Ho Chi Minh City Flughafen), Sept. 2011 (Da Nang Flughafen), Straßenlärm Befragungen zusätzlich in Hue und Thai Nguyen 2013.

Ergebnisse:

Angaben zu der Menge der eingeschlossenen Datensätze sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Die Ergebnisse wurden verglichen mit den Expositions-Wirkungskurven der europäischen Lärm-Direktive (European Noise Directive) von 2002.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Autoren schlussfolgern, dass die existierenden Expositions-Wirkungsbeziehungen von Miedema et al. (1998) aus der europäischen Noise Guideline von 2002 gut geeignet sind, die Belästigung durch Fluglärm in Vietnam abzubilden. Die Kurven zeigten eine gute Vorhersagbarkeit der erwarteten Belästigung bei Lärmzunahme.

Die Expositions-Wirkungskurven für Straßenlärm zeigten eine höhere Lärmtoleranz (geringere Belästigung) bei der vietnamesischen Bevölkerung. Die befragten Vietnamesen tolerierten ca. 5-10 dB höhere Lärmpegel als die Bevölkerungen, deren Bewertungen der EU-Kurve zugrundegelegt wurden.

Tab. 31 Untersuchung zur Belästigung durch Fluglärm im Umfeld von Flughäfen und Straßen; Eingeschlossene Teilnehmer sowie Lärmpegel im Umfeld der Flughäfen (Gjestland et al., 2015)

Geräuschquelle	Stadt	Gebiete n	Teilnehmer n	Response Rate (%)	Lärmpegel (dB)
Straßenlärm	Hanoi	8	1503	50	73-81
	Ho Chi Minh City	8	1471	61	77-83
	Da Nang	6	492	82	66-76
	Hue	7	688	98	61-80
	Thai Nguyen	10	813	81	61-78
Fluglärm	Ho Chi Minh	10	880	87	53-71
	Hanoi	9	824	85	48-61
	Da Nang	6	528	84	52-64

Abb. 34 Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen der Belastung durch Fluglärm und der Belästigung an drei Flughäfen in Vietnam; Belästigung erfragt mit einer 5-stufigen (links) und einer 11-stufigen (rechts) ICBEN-Skala (Gjestland et al., 2015)

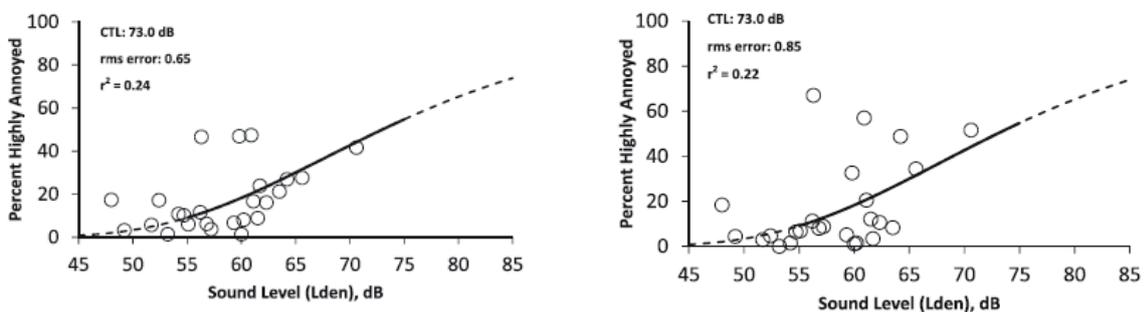
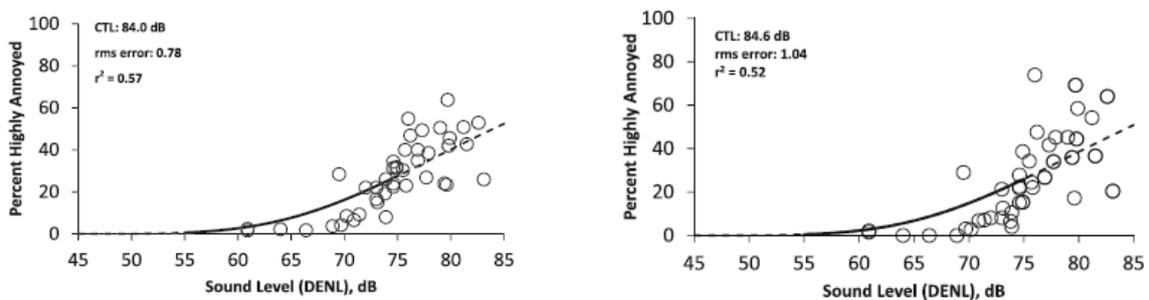


Abb. 35 Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen der Belastung durch Straßenverkehrslärm und der Belästigung in fünf Städten in Vietnam - Belästigung erfragt mit einer 5-stufigen (links) und einer 11stufigen (rechts) ICBEN-Skala (Gjestland et al., 2015)



Guoqing D, Xiaoyi L, Xiang S, Zhengguang L, Qili L. Investigation of the relationship between aircraft noise and community annoyance in China. *Noise and Health* (2012) 14:57, 52-7

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und individuell empfundener Belästigung auf der 5-stufigen ICBEN-Skala (International Commission on Biological Effect of Noise), Erstellung einer Expositions-Wirkungs-Beziehung in einer süd-ost-asiatischen Population (China).

Methoden:

764 Personen, die in räumlicher Nähe zum Verkehrsflughafen Hangzhou Xiaoshan International Airport lebten (Umfeld 6 km), wurden zu soziodemographischen Daten und zu ihrer individuellen Lärmbelastigung entsprechend der 11-stufigen ICBEN-Skala befragt. Sie konnten Antworten geben von „gar nicht“ bis „extrem“ belästigt durch Fluglärm. Die Lärmbelastigung wurde an insgesamt 39 Punkten erhoben (Lärmmodell für die Region) und für den Wohnort der Teilnehmer berechnet als sogenannter gewichteter Dauerschallpegel.

Durchführungszeitraum: 2009

Confounder: Angaben zur Erhebung möglicher Confounder fehlen. Es wurden Daten zu Geschlecht und Alter gesammelt. Von 1.500 versendeten Fragebögen konnten 764 Bögen ausgewertet werden.

Ergebnisse:

Der Anteil der Hoch-Belästigten lag viel höher als in früheren Studien in Korea, Holland und den USA.

Abb. 36 Zusammenhang zwischen der 24h-Lärmbelastung durch Fluglärm und dem Anteil stark Belästigter (%HA) in verschiedenen Untersuchungen (Guoqing et al., 2012)

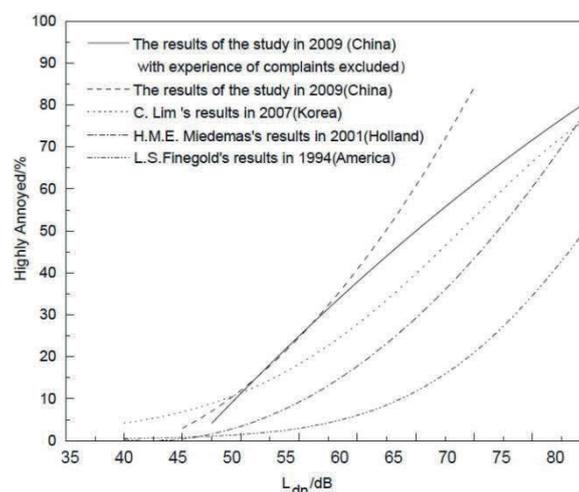


Figure 3: Relationship curves between %HA and L_{dn} in four countries.

Schlussfolgerung der Autoren:

Bislang vorliegende Studienergebnisse aus früheren Jahren unterschätzen die Belästigung durch Fluglärm.

Hansell A, Blangiardo M, Fortunato L, Floud S, de Hoogh K, Fecht D, Ghosh R, Laszlo H, Pearson C, Beale L, Beevers S, Gulliver J, Best N, Richardson S, Elliott P. Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ* (2013) 347

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und dem Risiko für Krankenhauseinweisungen sowie Mortalität (Sterblichkeit) für die Diagnosen Schlaganfall, koronare Herzerkrankung (KHK), kardiovaskuläre Erkrankungen) in der Nähe von London Heathrow.

Methoden:

Sekundärdaten-basierte Untersuchung: Die Untersuchung beinhaltete 12 Stadtteile und neun Bezirke westlich von London, die Fluglärm von London/Heathrow ausgesetzt sind. Die Daten der Fluglärmbelastung wurden von der britischen Zivillflugbehörde zur Verfügung gestellt. Eingeschlossen wurden Bezirke innerhalb der $L_{Aeq, 16h}$ 50dB Kontur um den Flughafen. Analysiert wurde für die Postleitzahl des jeweiligen Falles per äquivalentem Dauerschalldruckpegel für $L_{Aeq, 16h}$ und die Nacht L_{Nacht} . Die Informationen in Bezug auf Krankenhauseinweisungen und Todesfälle wurden von der nationalen Statistikbehörde zur Verfügung gestellt, unter Angabe der Postleitzahl des Falles.

Confounder:

Daten für Geschlecht und Alter wurden von der nationalen Statistikbehörde für die jeweiligen Bezirke zur Verfügung gestellt. Auf Bezirksebene wurden weitere mögliche Confounder ethnischer Hintergrund, ein sog. Deprivationsindex, die Wahrscheinlichkeit für Rauchen und Daten zur Luftverschmutzung (PM_{10}) und Straßenverkehrsbelastung am Tag zur Verfügung gestellt.

Durchführungszeitraum:

Die Daten der Fluglärmbelastung in dem jeweiligen Wohngebiet stammten von 2001. Die Gesundheitsdaten (Krankenhauseinweisungen und Todesfälle) wurden analysiert für 2001-2005.

Ergebnisse:

Die Risiken für Krankenhauseinweisungen für die betrachteten Diagnosen waren signifikant assoziiert mit höheren Lärmbelastungen am Tag und in der Nacht ($L_{Aed 7-23 Uhr}$, L_{Nacht}). Wenn Bezirke mit der höchsten Lärmexposition (>63 dB) mit denen der niedrigsten Lärmexposition (<51 dB) verglichen wurden, zeigte sich eine Zunahme des relativen Risikos von 1,24 für Schlaganfall, für koronare Herzerkrankung von 1,21 und für kardiovaskuläre Erkrankungen allgemein von 1,14 (adjustiert für Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft, Deprivationsindex, Wahrscheinlichkeit Rauchen). Die Risiken für Mortalität durch dieselben Diagnosen waren ähnlich ausgeprägt, jedoch mit weiterem Konfidenzintervall. In den Bezirken, die ebenfalls für Luftverschmutzung und Straßenverkehrslärm korrigiert werden konnten, zeigte sich auch nach Adjustierung für diese Parameter noch ein signifikanter Zusammenhang. Es konnte nicht unterschieden werden zwischen Effekten des Fluglärms am Tag und in der Nacht, da diese stark miteinander korrelierten.

Schlussfolgerung der Autoren

Eine hohe Fluglärmbelastung war in dieser sekundärdatenbasierten Untersuchung assoziiert mit einem erhöhten Risiko für Schlaganfälle, KHK und kardiovaskuläre Erkrankungen allgemein (sowohl für die Krankenhauseinweisungen als auch für die Mortalität). Sowohl ein kausaler Zusammenhang kann hierfür in Betracht kommen als auch alternative Erklärungsansätze wie z.B. Rest-Confounder.

Abb. 37 Relatives Risiko für den Zusammenhang zwischen Krankenhauseinweisung 2001-2005 und jährlicher Bevölkerungsgewichteter Lärmbelastung durch Fluglärm (Hansell et al., 2013)

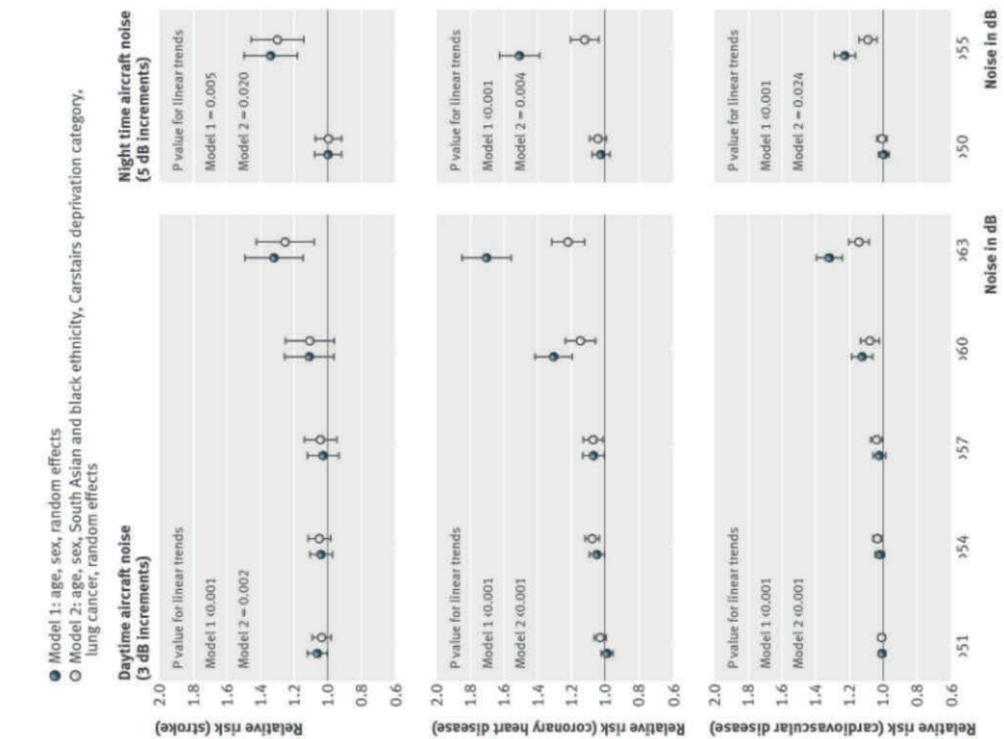
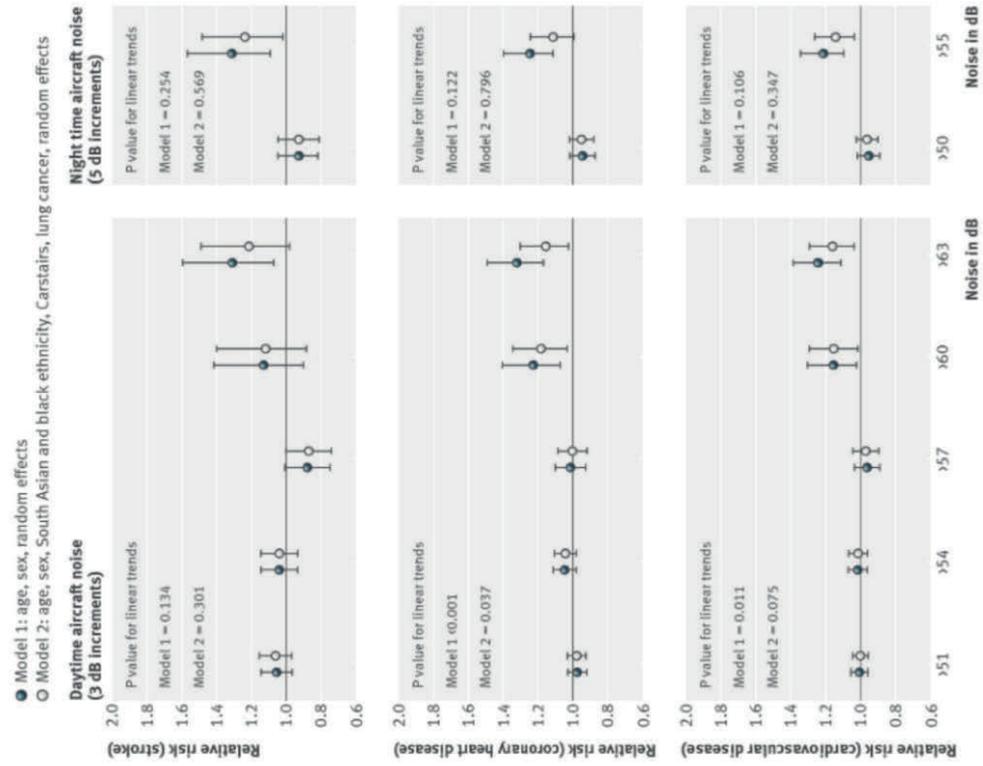


Abb. 38 Relatives Risiko für den Zusammenhang zwischen Mortalität 2001-2005 und jährlicher Bevölkerungsgewichteter Lärmbelastung durch Fluglärm (Hansell et al., 2013)



Haralabidis A, Dimakopoulou K, Velonaki V, Barbaglia G, Mussin M, Giampaolo M, Selander J, Pershagen G, Dudley ML, Babisch W, Swart W, Karsouyanni K, Jarup L. Can exposure to noise affect the 24h blood pressure profile? Results from the HYENA study. J Epidemiol Community Health (2011) 65: 535-41

Fragestellung:

Physiologisch kommt es in der Nacht zu einem Absenken insbesondere des diastolischen Blutdrucks. Es wird diskutiert, dass ein Ausbleiben der Absenkung im Zusammenhang stehen könnte mit einer Risikozunahme für kardiovaskuläre Erkrankungen. Hier wird der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung (Flug-, Straßenverkehrslärm und sonstige) und dem Ausbleiben nächtlicher Blutdruck-Absenkungen untersucht.

Methode:

In der hier vorliegenden Studie wurden 149 Personen zwischen 45-70 Jahren aus der HYENA Studie (s. S. 55) mittels Langzeit-Blutdruckmessung untersucht. Die Teilnehmer stammten aus den 4 Ländern der HYENA Studie (Griechenland, Italien, Schweden, Großbritannien) und lebten in räumlicher Nähe zu einem großen Verkehrsflughafen mit Nachtflugbetrieb. Die Geräuschmessung erfolgte im Haus der Teilnehmer und unterschied zwischen Fluglärm, Straßenlärm, andere Aussengeräusche und Innenraumgeräusche.

Confounder:

Im Rahmen der HYENA Gesamtstudie wurden Confounder betrachtet wie Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand. Ausgeschlossen wurden in der Teilbetrachtung hier Personen mit Blutdruckmedikamenten, Diabetes mellitus, obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom, Diagnose eines sekundären Bluthochdrucks, Nachtschicht-Arbeitende, Personen, die Schlafmittel oder Sedativa einnahmen, Personen mit Hörbeeinträchtigung oder solche, die regulär nachts Ohrstöpsel verwenden, oder mit diagnostiziertem Vorhofflimmern.

Durchführungszeitraum:

2003-2005. Zum Zeitpunkt der Blutdruckmessungen wurde der Geräuschpegel unmittelbar im häuslichen Umfeld gemessen. Desweiteren wurde die allgemeine Lärmbelastung im Schlafzimmer in Lärmmodellen erfasst. Die Daten des Lärmmodells stammten aus 2002.

Ergebnisse:

In der hier vorliegenden Untersuchung zeigte sich der einzige signifikante Zusammenhang zwischen der Belastung durch Straßenverkehrslärm und einem Ausbleiben des nächtlichen „Blutdruck-Dippings“ (Absenkung). Es zeigte sich, dass eine Zunahme von 5 dB im Bereich Straßenverkehrslärm in der Nacht mit einer 0,8%-igen Verringerung der nächtlichen Blutdruckabsenkung verbunden ist.

Fluglärm war weder in der Gesamtgruppe noch länder-spezifisch signifikant mit einem fehlenden Absenken assoziiert. Auch die Innenraum-Lärmbelastung war nicht mit einer signifikanten Beeinflussung des nächtlichen Blutdrucks verbunden.

Tab. 32 Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen Geräuschbelastung und dem Ausbleiben nächtlicher Blutdruckabsenkungen (Haralabidis et al., 2011)

Geräuschbelastung	Systolisches Dipping	Diastolisches Dipping
Langzeit Lärmexposition		
L _{Aeq 24h} , Flug (5dB)	0,1	0,1
L _{Aeq 24h} , Straße (5dB)	-0,45	-0,55
L _{Aeq 24h} , Flug (5dB), adjustiert	0,1	0,25
L _{Aeq 24h} , Straße (5dB), adjustiert	-0,43	-0,51
L Nacht, Fluglärm	0,18	0,16
L Nacht, Straße	-0,48	-0,55
Innenraumlärm gemessen in der Studiennacht		
L Aeq Nacht	0,42	0,36
Alle Lärmereignisse, Anzahl	-0,01	0,002
Fluglärmereignisse	0,002	0,03
Fluglärm (5dB)	-0,05	0,05
Straßenlärmereignisse, Anzahl	-0,01	-0,002
Straßenlärm (5dB)	-0,55	-0,8**
Anzahl Innenraumereignisse	-0,001	-0,01
Innenraumlärm (5dB)	0,45	0,41
Belästigung durch Fluglärm	0,09	0,11
Belästigung durch Straßenlärm	0,05	-0,06
Schlafqualität	1,03	0,95
Belästigung durch RR Messung	-0,23	-0,32

***signifikant**

Schlussfolgerung der Autoren:

„Die Studie gibt Hinweise darauf, dass Straßenverkehrslärm zu fehlenden Blutdruckabsenkungen im Schlaf führt. Es gibt Hinweise darauf, dass an Standorten mit Nachtflugaufkommen Effekte vorhanden sind. Als präventive Maßnahme sollte der Verkehrslärm in der Nacht reduziert werden.“

Haralabidis A, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L. Acute effects of night-time exposure on blood pressure in populations living near airports (2008) 29: 658-664

Fragestellung:

Auswirkungen kurzfristiger Geräuschanstiege in der Nacht auf Blutdruck und Puls während des Schlafs.

Methode:

Untersucht wurden 140 Personen, die an der HYENA (Hypertension and exposure to noise near airports) Studie (s. S. 55) teilnahmen. Die teilnehmenden Personen aus dieser Untergruppe wohnten nahe der Flughäfen London-Heathrow, Athen, Malpensa (Italien) und Arlanda (Schweden). Durchgeführt wurden nicht-invasive 24h-Langzeit-Blutdruckmessungen in einer Untersuchungsnacht in Abständen von 15 Minuten im Schlafzimmer des Probanden (Feldstudie). Desweiteren erfolgten individualisierte Geräuschmessungen im Schlafzimmer der Teilnehmer. Registriert als Geräuschanstiege wurden Geräuschbelastungen >35 dB. Lärmereignisse wurden klassifiziert in Innenraum-, Flug-, Straßenlärm- und andere Aussenlärmquellen.

Confounder:

Im Rahmen der HYENA Gesamtstudie wurden Confounder betrachtet wie Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand. Die Untersuchung umfasste 140 Personen zwischen 45 und 70 Jahren.

Ausgeschlossen wurden in der Teilbetrachtung hier Personen mit Blutdruckmedikamenten, Diabetes mellitus, obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom, Diagnose eines sekundären Bluthochdrucks, Nachtschicht-Arbeitende, Personen, die Schlafmittel oder Sedativa einnahmen, Personen mit Hörbeeinträchtigung oder solche, die regulär nachts Ohrstöpsel verwenden, oder mit diagnostiziertem Vorhofflimmern.

Durchführungszeitraum:

2003-2005. Zum Zeitpunkt der Blutdruckmessungen wurde der Geräuschpegel unmittelbar im häuslichen Umfeld (im Schlafzimmer) gemessen.

Ergebnisse:

Durchschnittlich wurde in den 15 Minuten nach einem Fluglärmereignis ein Anstieg des systolischen Blutdrucks um 6,2 mm Hg verzeichnet. Der diastolische Blutdruck stieg in diesen 15 Minuten um durchschnittlich 7,39 mm Hg. Das Ansteigen des Pulses war nicht signifikant. Bei Lärmereignissen durch Straßenverkehr nahm der Blutdruck im Mittel um 4,81 mm Hg (systolisch) und 3,34 mm Hg (diastolisch) zu. Bei Innenraumquellen lagen die mittleren Blutdruckanstiege bei 7,39 mm Hg (systolisch) bzw. 4,17 mm Hg (diastolisch). Bei Betrachtung des jeweiligen Maximal-Werts der verschiedenen Geräusche ergaben sich keine systematischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Geräuschquellen.

Tab. 33 Wirkung verschiedener Geräusche und Geräuschspitzen auf den systolischen und diastolischen Blutdruck und den Puls (Flug- und Straßenverkehr sowie Innenraumquellen) (Haralabidis A, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L 2008)

	Anstieg syst. RR (mmHg)	Anstieg diast. RR (mmHg)	Anstieg Puls (n/Min)
L _{Aeq} (15 Min) (5 dB)	0,74	0,63	0,26
L _{Aeq} (1 Min) (5 dB)	0,69	0,55	0,3
L _{Aeq} (15 Min) (5 dB) adj.	0,82	0,62	0,23
L _{Aeq} (1 Min) (5dB) adj.	0,88	0,5	0,35
Geräuschanstieg durch Überflüge (ja)	6,2	7,39	5,42
L _{Amax} Überflüge	0,66	0,64	0,18
Geräuschanstiege Straßenverkehr (ja)	4,81	3,34	-2,76
L _{Amax} Straßenverkehrs-Geräuschanstiege	0,81	0,55	0,01
Geräuschanstiege durch Innenraumbelastung (ja)	7,39*	4,19	3,0
L _{Amax} Innenraum-Geräuschanstiege	0,87	0,68	0,21

*signifikant

Schlussfolgerung der Autoren:

Es zeigte sich ein Effekt von Geräuschbelastungen auf den Blutdruck (systolisch und diastolisch) in den 15 Minuten nach Lärmexposition – die Effektstärke ist offenbar unabhängig von der Quelle.

Holt JB, Zhang X, Sizov N, Croft JB. Airport noise and self-reported sleep insufficiency, United States, 2008 and 2009. *Prev Chronic Dis.* (2015) Apr 16; 12:E49:1-12.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und der Schlafqualität im Umfeld von 95 US-amerikanischen Flughäfen, Daten des sogenannten Behavioral Risk Factor Surveillance Systems (BRFSS).

Methoden:

Landesweite Befragung (50 US-Staaten) von ungefähr 750.000 Personen im Rahmen des BRFSS unter anderem mit Fragen zur Schlafqualität (z.B. „Wenn Sie an die letzten 30 Tage denken, wie oft fühlten Sie, dass Sie nicht genug Schlaf und Erholung hatten?“). In Bezug auf die Belastung durch Fluglärm wurden die Teilnehmer in 3 Gruppen eingeteilt. Personen ohne Fluglärmbelastung wurden als Referenzgruppe definiert.

Die Lärmdaten wurden erhoben als integriertes Lärmmodell der US-amerikanischen Flugbehörde (Federal Aviation Administration, FAA).

Durchführungszeitraum:

2008-2009

Confounder:

Alter, Geschlecht, Ethnische Herkunft, Bildung, Einkommen; Körpergewicht, Übergewicht, Rauchen.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

745.868 Teilnehmer wohnten in einem Zipcode, für den Fluglärmbelastungsdaten vorhanden waren.

Tab. 34 Teilnehmer der Erhebung mit Lärmbereich (Holt et al., 2015)

Lärmbereich	Personen	Prozentualer Anteil
> 65 dB	855	0,11%
60≤65 dB	2.368	0,32%
55≤60 dB	4.576	0,61%
<55 dB	738.069	98,9%

Tab. 35 Adjustierte Odds Ratios für die Wahrscheinlichkeit von unzureichendem Schlaf und Erholung in den vergangenen 30 Tagen und β -Koeffizienten für die Tage mit unzureichendem Schlaf oder Erholung assoziiert mit der Fluglärmexposition (Holt et al., 2015)

Zone	Alle 30 Tage OR	Keine Tage OR	Anzahl Tage β	Teilnehmer Anzahl
Außerhalb, Referenz	1	1	0	738.069
55-<60 dB	0,82	0,98	0,32	4.576
60-<65 dB	1,04	0,96	0,49	2.368
≥ 65 dB	0,86	0,95	0,74	855

Die Autoren fanden keine signifikanten Assoziationen zwischen Fluglärmbelastung und angegebener unzureichender Schlafqualität – nach Berücksichtigung von Alter, Geschlecht, ethnischer Zugehörigkeit, Bildung, Einkommen, Übergewicht und Rauchen. Sie sehen ihre Ergebnisse in Übereinstimmung mit anderen Studien, die ebenfalls keine oder allenfalls geringe Assoziationen fanden. Die Stärke der Studie liegt nach Ansicht der Autoren darin, dass viele Teilnehmer von unterschiedlichen Flughäfen im ganzen Land mit unterschiedlichen Klimaregionen eingeschlossen waren. Nachteilig sei, dass die Lärmexposition ausschließlich nach Zip-Code zur Verfügung stand und somit nicht personengenau. Die Kategorie „kein Fluglärm“ kann auch Bereiche mit hoher Belastung umfasst haben z.B. mit hoher Straßenverkehrslärmbelastung. Somit ist ein Bias nicht ausgeschlossen. Die Lärmexposition DNL berücksichtigt Tag und Nacht, nicht nur Nacht, sodass auch hier eine „Fehlklassifikation“ nicht auszuschließen ist.

Huss A, Spoerri A, Egger M, Rösli M, Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality from Myocardial Infarction. Epidemiology (2010) 21: 829-836.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Todesursachen im Sinne von kardiovaskulären Erkrankungen und Fluglärmbelastung, Luftverschmutzung und Straßenverkehrsbelastung

Methoden:

Analysiert wurden Daten des Schweizer Melderegisters und des Sterberegisters aus den Jahren 2000-2005. Es lagen die Daten von 4,6 Millionen Schweizern vor (>30 Jahre). Untersucht wurden Todesfälle aufgrund von Herzinfarkt und Todesfälle aufgrund aller kardiovaskulärer Erkrankungen. Zusätzlich wurden Todesfälle durch Lungenkrebs (als Indikator für Rauchen ein möglicher Confounder) erfasst. Insgesamt wurden mehr als 430.000 Todesfälle betrachtet, über 100.000 der Verstorbenen hatten mehr als 15 Jahre in ihrer letzten Wohnung gelebt.

Die Lärmexposition im Umfeld von 65 Flughäfen in der Schweiz wurde berechnet mit Daten der nationalen Flugbehörde für den Wohnort der jeweiligen Person (Lärmmodell Berechnung) in 5 dB-Schritten. Für die Flughäfen mit Nachtflugbetrieb – Basel, Zürich und Genf – wurde auch die nächtliche Fluglärmexposition betrachtet.

Die Belastung durch Luftverschmutzung wurde auf Grundlage von Daten der nationalen Umweltbehörde 2000 für die jeweilige Person in Feinstaubbelastung durch PM₁₀ (particulate matter <10µm) berechnet. Die Belastung durch Straßenverkehrslärm wurde abgeschätzt durch die Entfernung der Wohnung zu einer großen Verkehrsader (>200m, 100-199m, 50-99m, <50m). Die Analyse erfolgte anhand einer multivariaten Analyse.

Durchführungszeitraum:

Melderegisterdaten für Mortalität von 2000-2005. Lärmexposition berechnet zwischen 2001-2005 in einem nationalen Lärmmodell.

Confounder:

Die Daten des Melderegisters geben Informationen über Alter, Geschlecht, Familienstand und Bildungsstand und auf kommunaler Ebene Informationen zur Bausubstanz, der Stadtstruktur, und sozioökonomischen Charakteristika, Alter und Renovierungsstand der Häuser.

Ergebnisse:

Aus der Analyse mit ursprünglich 7,29 Millionen Einwohnern wurden 2,59 Millionen Menschen unter 30 Jahren ausgeschlossen. Weitere 113.855 Personen wurden ausgeschlossen, da keine Wohnort-Daten erhoben werden konnten. Die Analyse umfasste dann 4.580.311 Personen, über 400.000 Verstorbene, darunter 15.532 Todesfälle wegen Herzinfarkt.

Ein statistisch signifikantes Ergebnis (signifikant erhöhtes Risiko für Tod an Herzinfarkt in Abhängigkeit von der Fluglärm-Belastung) zeigte sich in der Gruppe der sehr stark Fluglärmbelasteten (>60 dB) gegenüber den nicht Fluglärmbelasteten (<45 dB), mit einer Odds Ratio von 1,3. In der Gruppe der Personen, die länger als 15 Jahre an derselben Wohnadresse lebten, zeigt sich eine Odds Ratio von 1,5 (sign.). Keine der anderen Mortalitätsendpunkte wie „alle kardiovaskulären Erkrankungen“, „Lungenkrebs“, „Schlaganfall“ zeigte einen statistischen Zusammenhang zu der Fluglärmexposition am Wohnort.

Tab. 36 Risiko für Todesfall durch Herzinfarkt, alle kardiovaskulären Erkrankungen, Lungenkrebs und Schlaganfall (* signifikant) (Huss et al., 2010)

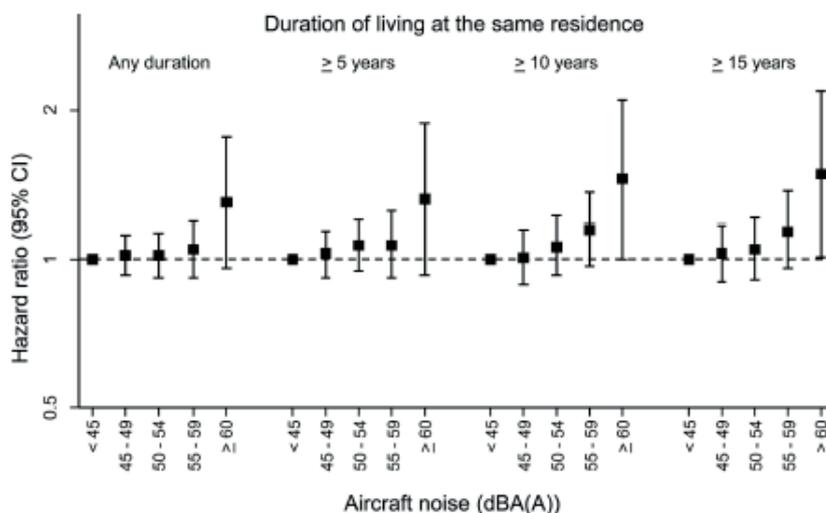
Exposition	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
Myokard Infarkt				
Fluglärm				
<45	1	1	1	1
45-49	0,96	1,0	1,02	1,03
50-54	0,97	1,01	1,02	1,05
55-59	0,98	1,04	1,05	1,14
≥60	1,27	1,28	1,3	1,48*
Straßenlärm, Abstand zur Straße				
≥200	1	1	1	1
100-199	0,97	0,98	0,99	1,02
50-99	1,07*	1,08*	1,09*	1,18*
<50	1,1*	1,1*	1,1*	1,17*
Luftbelastung (PM10)	0,98	0,99	0,98	0,99
Alle kardiovaskulären Erkrankungen				
Fluglärm				
<45	1	1	1	1
45-49	1,06*	1,03*	1,02	1,04*
50-54	0,96	1,01	1,0	1,04
55-59	0,93	1,01	1,01	0,98
≥60	1,03	1,00	0,99	1,03
Straßenlärm, Abstand zur Straße				
≥200	1	1	1	1
100-199	1,0	1,02*	1,02*	0,99
50-99	1,01	1,04*	1,04*	1,03*
<50	1,1*	1,04*	1,04*	1,06*
Luftbelastung (PM10)	1,0*	1,0	1,0	1,00*
Lungenkrebs				
Fluglärm				
<45	1	1	1	1
45-49	0,91	0,92	0,85	0,81
50-54	1,07	1,06	1,02	0,97
55-59	1,01	1,04	1,02	1,03
≥60	1,09	1,13	1,01	0,79
Straßenlärm, Abstand zur Straße				
≥200	1	1	1	1
100-199	1,12*	1,1*	1,09*	1,05*
50-99	1,19*	1,16*	1,13*	1,06*
<50	1,29*	1,22*	1,19*	1,1*
Luftbelastung (PM10)	1,05*	1,05*	1,05*	1,05*
Schlaganfall				
Fluglärm				
<45	1	1	1	1
45-49	0,99	0,96	0,97	1,03
50-54	0,94	0,96	0,97	1,02
55-59	1,01	1,06	1,06	0,96
≥60	0,84	0,82	0,83	0,88
Straßenlärm, Abstand zur Straße				
≥200	1	1	1	1
100-199	1,0	1,02	1,02	0,97
50-99	0,97	0,99	0,99	0,98
<50	0,99	1,01	1,02	1,03
Luftbelastung (PM10)	0,99	0,99	0,99	0,99

Modell 1 adjustiert für Geschlecht, Modell 2 adjustiert für Geschlecht, Familienstand, Nationalität, Bildungsstand, Stadtstruktur, Region, Bautyp des Hauses und sozioökonomischer Status, Modell 3

zusätzlich für Straßenlärm, PM10, Modell 4 zusätzlich nur Personen, die länger als 15 Jahre am selben Wohnort lebten.

Geringe Entfernung der Wohnung zu einer Hauptverkehrsstrasse als Indikator für Straßenverkehrslärm war signifikant assoziiert mit der Mortalität durch Herzinfarkt, Herz-Kreislauf-Erkrankungen insgesamt, Tracheal-, Bronchial- und Lungenkrebs, nicht jedoch mit dem Mortalitätsrisiko durch Schlaganfall.

Abb. 39 Mortalität an Herzinfarkt in Odds Ratio mit Konfidenzintervall in Abhängigkeit von der Wohndauer an Fluglärm-exponierten Orten (Huss et al., 2010)



Schlussfolgerung der Autoren:

Diese große Querschnittsstudie zeigt einen Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Tod durch Herzinfarkt bei den sehr stark durch Fluglärm belasteten Personen. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zu Todesfällen bei den anderen Erkrankungen. Aufgrund des Studiendesigns (Lifestyle Faktoren wie BMI, körperliche Aktivität etc. wurden nicht erfasst) konnte die Bedeutung dieser Risikofaktoren als Mediator oder Confounder zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und Tod an Herzinfarkt nicht untersucht werden.

„Fluglärm war assoziiert mit einer erhöhten Mortalität durch Herzinfarkt mit Expositions-Wirkungsbeziehung für Ausmaß und Dauer der Exposition. Der Zusammenhang scheint nicht durch die Luftverschmutzungsparameter, den Bildungsstand oder den sozioökonomischen Status erklärt zu werden. Zusammenfassend geben die Daten weitere Hinweise darauf, dass ein hohes Ausmaß an Fluglärmbelastung über längere Zeit mit einem erhöhten Risiko für Myokardinfarkt(-mortalität) verbunden ist. Es ist unwahrscheinlich, dass die Ergebnisse erklärt werden können durch sogenannte Confounder. Sollte der Zusammenhang Kausalität besitzen, dann sind die Mechanismen hierfür unklar... Kardiovaskuläre Risikofaktoren wurden nicht untersucht. Deshalb konnte eine mögliche Rolle als Confounder nicht berücksichtigt werden.“

Janssen S, Centen M, Vos H, van Kamp I. The effect of the number of aircraft noise events on sleep quality. Applied Acoustics (2014) 84: 9-16.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Schalldruckpegel, Anzahl der Überflüge und Anzahl der Überflüge hoher Lautstärke und Schlafqualität im Schlafraum zu Hause.

Durchführungszeitraum:

11/1999 - 04/2001

Confounder:

Die Teilnehmer wurden angeschrieben und in einem mehrstufigen Verfahren ausgewählt. Der Anteil der Männer lag bei 50%. 6% der Teilnehmer lebten weniger als 1 Jahr an der aktuellen Adresse, 44% länger als 15 Jahre, 50% zwischen 1 und 15 Jahren. Weitere Angaben zu möglichen Confoundern fehlen.

Methoden:

In der hier vorgestellten Feldstudie wurden 418 Erwachsene (18-81 Jahre), die zum Zeitpunkt der Erhebung im Umkreis 20 km um den Flughafen Amsterdam Schiphol lebten, auf ihre Schlafqualität untersucht. Die Schlafqualität wurde erhoben anhand der Bewegung im Schlaf (Bewegungsmonitor am Handgelenk) und der selbstberichteten Schlafqualität anhand einer 11-Punkte-Skala. Mehrere lineare Regressionsanalysen wurden durchgeführt, um die Einflussfaktoren auf die Schlafqualität zu ermitteln.

Der Geräuschpegel wurde bestimmt zwischen 22:00 und 09:00 Uhr im Schlafraum des Teilnehmers und abgestimmt mit Außenmessungen zur Bestimmung, ob ein Fluglärmgeräusch vorgelegen hat. Für jede Schlafensperiode wurde die Zeit festgelegt, die Anzahl der Überflüge und der äquivalente Innenraum-Schalldruckpegel.

Ergebnisse:

Der äquivalente Schalldruckpegel (individuell gemessen für jeden Teilnehmer) ist in der hier vorliegenden Studie unabhängig korreliert mit der Anzahl der Bewegungen im Schlaf (als ein Marker für schlechtere Schlafqualität). Zusätzliche Parameter wie die Anzahl der nächtlichen Überflüge verbessern die Vorhersagbarkeit der Schlafqualität nicht.

Betrachtet man die Bewegungen im Schlaf (als Marker für schlechtere Schlafqualität), dann zeigt sich ein zusätzlicher Zusammenhang zu der Anzahl der Überflüge >60 dB.

Auf der selbst-angegebenen Schlafskala (11 Punkte) zeigt sich kein unabhängiger Zusammenhang zu der Menge der Überflüge (egal welcher Lautstärke).

Schlussfolgerung der Autoren:

Grundsätzlich kann man laut Autoren davon ausgehen, dass die Menge der Überflüge keinen zusätzlichen Vorhersagewert zum individuell ermittelten Schalldruckpegel in der Nacht (22.00 – 09:00 Uhr) geben kann. Lediglich die sehr lauten Überflüge (>60 dB) führten unabhängig zu einer Zunahme der Bewegungen als Marker für schlechte Schlafqualität und könnten als Grundlage für Schutzmaßnahmen gegen lärmbedingte Schlafstörungen genutzt werden. Die Autoren warnen jedoch vor einer zu schnellen Verallgemeinerung ihrer Ergebnisse.

Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seiffert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglinati F. Hypertension and Exposure to Noise Near Airports. the HYENA Study (2008) 116, 3: 329-33.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Bluthochdruck und der Lärmbelastung durch Flug- und Straßenverkehr am Wohnort.

Methode:

An der multizentrischen und multinationalen HYENA Studie (s. S. 55) nahmen 4.861 Personen (45-70 Jahre) aus 6 europäischen Ländern teil, die mindestens 5 Jahre in räumlicher Nähe zu einem großen Verkehrsflughafen wohnten. Im Rahmen eines ausführlichen Interviews in der Wohnung der Probanden wurde ihnen von den Studienbegleitern der Blutdruck mit einem automatischen Messgerät gemessen. Die Geräuschbelastung (Flug- und Straßenverkehrslärm) wurde anhand von Lärmmodellen auf 1 dB genau berechnet (Wohnort), in Großbritannien auf 5 dB genau.

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand.

Durchführungszeitraum:

Der Expositionsparameter Lärm wurde 2002 erhoben. Interviews und Blutdruckmessungen wurden zwischen 2003 und 2005 durchgeführt.

Ergebnisse:

Erhoben wurde die Expositions-Wirkungsbeziehung zur Lärmbelastung (am Tag L_{Aeq16h} , in der Nacht L_{Night} und im 24h Intervall L_{Aeq24h}). Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Bluthochdruck und der Fluglärmbelastung in der Nacht ($p=0,031$), nicht zur Fluglärmbelastung am Tage (6-22 Uhr) – kein Unterschied zwischen Männern und Frauen. Desweiteren zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und der 24h-Belastung durch Straßenverkehrslärm. Dieses war bei den männlichen Studienteilnehmern (Odds Ratio 1,54) stärker ausgeprägt, während bei den Frauen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Straßenverkehrslärm und Bluthochdruck nachweisbar waren.

Tab. 37 Expositions-Wirkungsbeziehung, Odds Ratio von Bluthochdruck bei Zunahme der Lärmbelastung um jeweils 10 dB an der Wohnung (Jarup et al., 2008)

Variable	Odds Ratio	p-Wert
L Aeq 16h Fluglärm	0,928	0,19
L Nacht Fluglärm	1,141	0,031
L Aeq 24h Straßenlärm	1,097	0,044

Schlussfolgerung der Autoren:

Die HYENA-Studie fand signifikante Effekte nächtlichen Fluglärms auf den Blutdruck von Männern und Frauen, jedoch keinen Effekt des Fluglärms am Tage. Der Straßenverkehrslärm am Tag zeigte eine signifikante Wirkung auf den Blutdruck von Männern, nicht von Frauen.

Klatte M, Bergström K, Spilski J, Mayerl J, Meis M. NORAH – Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern. Endbericht Band 1. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. 2014

Fragestellung:

Fluglärm und der Einfluss auf kognitive Fähigkeiten (Leseleistung, sogenannte sprachliche Vorläuferfertigkeiten), die Lebensqualität, individuell empfundene Belästigung und Erkrankungsrisiken.

Methode:

Diese Untersuchung war Teil der großangelegten NORAH Studie (Noise-related annoyance, cognition and health) Lebensqualität, Gesundheit, Entwicklung. In dieser Teilstudie wurden Leseleistung und sprachliche Vorläuferfertigkeiten (Sprachwahrnehmung, phonologisches Arbeitsgedächtnis, phonologische Bewusstheit, schneller Abruf von Wortrepräsentationen, auditives Gedächtnis) bei insgesamt 1.243 Kindern erhoben.

Tab. 38 NORAH Testverfahren kognitive Fähigkeiten (Klatte et al., 2014)

Funktionsbereiche	Testverfahren
I Komplexe Leistungen	
Lesen	Standardisierter und normierter Lesetest für Grundschulkindern: Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler (ELFE 1-6, Lenhard und Schneider, 2006)
Auditives Gedächtnis	Für Gruppentestung adaptierte, modifizierte Version des Untertests „Gedächtnis auditiv“ aus „Intelligenz- und Entwicklungsskalen für Kinder von 5-10 Jahren“ (IDS, Grob, Meyer und Hagmann von Arx, 2009)
Nicht-sprachliche Fähigkeiten	Ravens's Coloured Progressive Matrices (CPM); Kurzfassung (Bulheller und Häcker, 2002)
II Phonologische Informationsverarbeitung/ Vorläuferfertigkeiten	
Phonologisches Kurzzeitgedächtnis	Pseudowörter merken (Klatte et al., 2007, 2010)
Phonologisches Bewusstsein	Laute kategorisieren, „Odds one Out“ (OOO) (Klatte et al., 2007, 2010)
Sprachwahrnehmung	Wortverständnis im Störgeräusch (Bild-zu-Wort Zuordnung) (Klatte et al., 2010; Stienbrink, Klatte, 2008)
Schneller Abruf von Wortrepräsentationen	Bildertest: Durchstreichtest mit phonologisch definierten Zielzeichen

Die Kinder besuchten die 2. Klasse. Die Leistungserhebungen wurden in 85 Schulklassen aus 29 unterschiedlich fluglärmbelasteten Grundschulen im Rhein-Main-Gebiet durchgeführt. Die Schulen wurden auf Basis von Lärmpegelklassen aus dem Jahr 2007 ausgewählt. Desweiteren erfolgten Befragungen der Kinder, Eltern und der Lehrkräfte bezogen auf das schulische, körperliche und psychische Wohlbefinden. Erfragt wurden außerdem die schulbezogene und die wohnortbezogene Belästigung durch Lärm.

Die statistische Auswertung erfolgte in einer sogenannten Mehrebenenanalyse. Sie wurde ergänzt durch Gruppenvergleiche zwischen gering-, mittel- und hoch-exponierten Kindern.

Durchführungszeitraum:

Frühjahr 2012 – Frühjahr 2013. Die Lärmbelastung wurde für den Zeitraum 05/2011 bis 05/2012 sowohl für den Wohn- als auch für den Schulstandort der Kinder berechnet. Dieses entspricht dem Zeitbereich von einem Jahr vor Beginn der Untersuchung an den Schulen.

Confounder:

Die teilnehmenden Schulen wurden ausgesucht unter Betrachtung möglicher Confounder wie dem Migrantenanteil, Sozialstatus, Anzahl der Schüler.

Mit einem Eltern-Fragebogen wurden erneut mögliche Confounder (Sozialstatus, Migrationshintergrund, Deutschkenntnisse) und Belastung durch andere Lärmquellen erfragt.

Abb. 40 Studienregion der Teilstudie „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“ (Klatte et al., 2014)

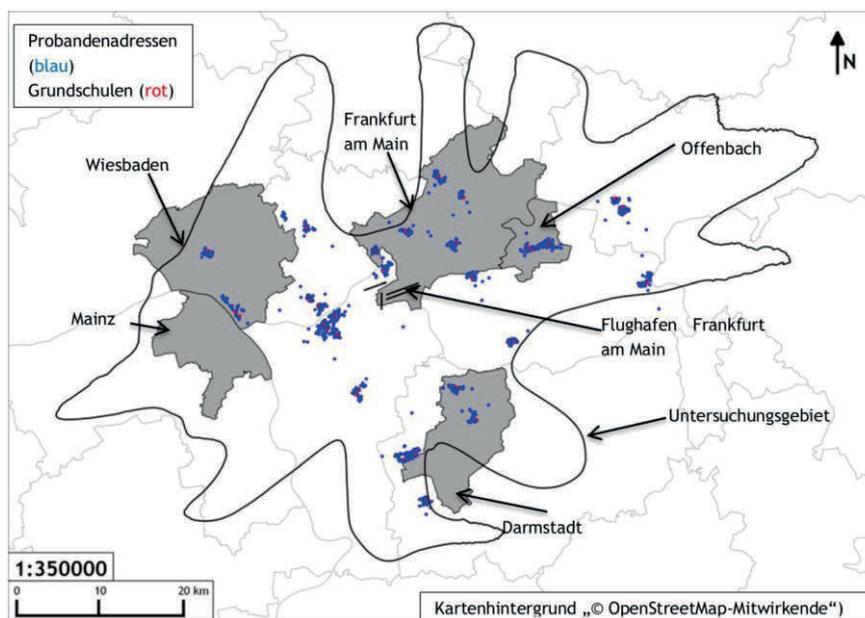
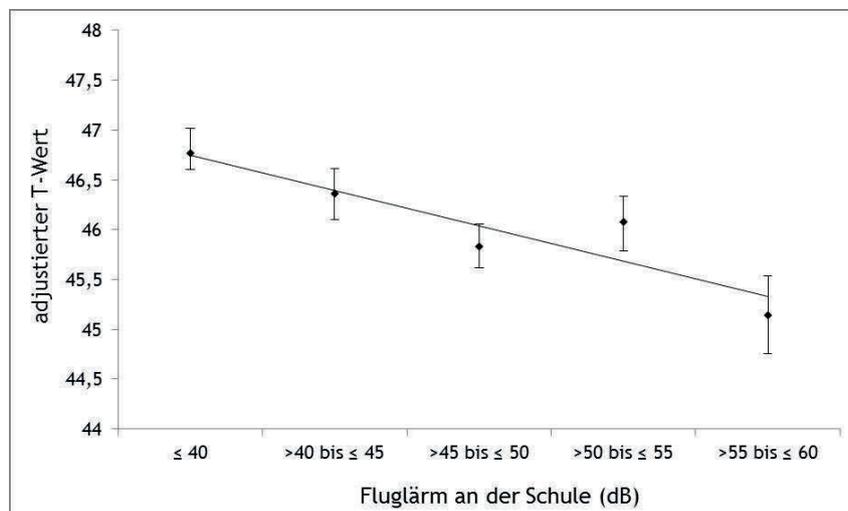


Abb. 41 Expositions-Wirkungskurve „Gesamtleistung Lesetest“: Adjustierte mittlere T- Werte und 95% KI für 5 dB Bänder des Fluglärms an der Schule (Klatte et al., 2014)



Tab. 39 Mehrebenen-Regressionsanalyse (aus Klatte et al., DAGA 2015), markiert: signifikant

Outcome Variable	Nicht-adjustiert (Regression, p-Wert)	Voll-adjustiert (Regression, p-Wert)
Gesamtwert Lesetest	-0,081; 0,103	-0,097; 0,027*
Elternbewertung, körperliches Wohlbefinden	-0,012; 0,011*	-0,012; 0,017*
Elternbewertung, psychisches Wohlbefinden	-0,01; 0,001*	-0,01; 0,001*
Kinderbewertung, schulbezogenes Wohlbefinden	-0,011; 0,087	-0,013; 0,044*
Kinderbewertung, Kopf- oder Bauchschmerzen	0,006; 0,041*	0,007; 0,034*
Kinderbewertung, gut schlafen	-0,006; 0,087	-0,008; 0,031*

*Signifikant; nicht-adjustiert: „direkte“ Assoziation zu Fluglärmexposition; voll-adjustiert: Berücksichtigung sowohl von individuellen personalen Faktoren als auch von schulischen Faktoren

Ergebnisse und Diskussion:

Es zeigten sich beeinträchtigende Effekte der Fluglärmexposition am Schulstandort auf die Leseleistung der Kinder und zwar sowohl bei den Gesamtergebnissen als auch in den Untertests „Wortverständnis“ und „Textverständnis“.

Die Beeinträchtigung im Leseverständnis kann als lineare Funktion beschrieben werden. Ein Anstieg der Fluglärmexposition um 10 dB ging mit einer Verschlechterung der Gesamtleistung im Lesetest um einen T-Wert-Punkt (entspricht 1/10 Standardabweichung) einher. Dies entspricht etwa einem Rückstand in der Leseentwicklung von 1 Monat.

Die in dieser Studie gezeigte Verschlechterung der Leseleistung erscheint insbesondere im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren (familiärer Kontext) vergleichsweise gering. Es ist jedoch unklar, wie sich die Verzögerung langfristig auf den Leseerwerbsprozess auswirken wird. Zur Klärung dieser Frage sind Längsschnittuntersuchungen der Kinder mit Wiederholung der Leistungstests in den kommenden Schuljahren notwendig.

Bei Kindern ohne Migrationshintergrund traten die negativen Effekte des Fluglärms auf die Leseleistung deutlicher zutage als in der Gesamtgruppe. Tatsächlich ergab die getrennte Analyse (mit vs. ohne Migrationshintergrund) bei Kindern mit Migrationshintergrund keine statistisch signifikanten Fluglärmeffekte. Erklärt wird dies mit einer höheren statistischen Wahrscheinlichkeit in dieser Gruppe mit ungünstigen Einflussfaktoren für die Leseentwicklung wie Sozialstatus, schlechtere Deutschkenntnisse und geringerer Förderung von lesebezogenen Aktivitäten in der Familie. Auch die Entwicklung exekutiver Aufmerksamkeitsfunktionen sowie kulturelle Einflüsse können eine Rolle spielen. Eine Analyse der Daten zeigt, dass Kinder mit Migrationshintergrund im Vergleich zu denen ohne eher in Haushalten mit mehr Personen leben und gleichzeitig weniger Wohnraum zur Verfügung haben. Diese Unterschiede bleiben auch bei Kontrolle des Sozialstatus signifikant bestehen. Es könnte angenommen werden, dass Kinder in dieser Umgebung mehr Lärm zu Hause ausgesetzt sind.

Es zeigten sich geringe, jedoch statistisch signifikante Effekte des Fluglärms auf die schulbezogene und gesundheitliche Lebensqualität der Kinder. Höhere Fluglärmexposition ging mit weniger positiven Schul- und Lerneinstellungen der Kinder, mit schlechteren Beurteilungen der Schlafqualität durch die Kinder und mit schlechteren Beurteilungen des körperlichen und psychischen Wohlbefindens durch

die Eltern und die Kinder einher. Zudem gaben Eltern aus hoch gegenüber Fluglärm exponierten Gebieten signifikant häufiger an, dass bei ihrem Kind eine Sprachstörung diagnostiziert wurde und dass ihr Kind derzeit ärztlich verordnete Medikamente einnimmt.

Höhere Fluglärmexposition ging mit höheren Beurteilungen der Belästigung einher.

Die Dauerschallpegel an den Schulvormittagen lagen im Mittel bei 49,5 dB mit einem Bereich von 39 bis 59 dB. Es zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen den Pegeln an den Schulstandorten und den Wohnorten, daher kann keine differenzierte Aussage der Wirkung von Exposition an Schule bzw. Wohnort getroffen werden.

Schlussfolgerung der Autoren:

Fluglärm beeinträchtigt die Leseleistung. Die insgesamt hohe Lebensqualität der Kinder ist durch Fluglärm vermindert.

Klatte M, Spilski J, Mayerl J, Möhler U, Lachmann T, Bergström K. Effects of Aircraft Noise on Reading and Quality of Life in Primary School Children in Germany: Results from the NORAH Study. Environment and Behavior (2016) 1-35

Fragestellung:

Fluglärm und der Einfluss auf kognitive Fähigkeiten (Leseleistung, sogenannte sprachliche Vorläuferfertigkeiten) und die Lebensqualität (Quality of Life).

In dieser Veröffentlichung wurde die NORAH Kinderstudie auch international zugänglich gemacht (Veröffentlichung in englischer Sprache). Für die Inhalte siehe auch Klatte et al., Endbericht Band 1.

Methode:

Diese Untersuchung war Teil der großangelegten NORAH Studie (Noise-related annoyance, cognition and health), Lebensqualität, Gesundheit, Entwicklung. In dieser Teilstudie wurden Leseleistung und sprachliche Vorläuferfertigkeiten (Sprachwahrnehmung, phonologisches Arbeitsgedächtnis, phonologische Bewusstheit, schneller Abruf von Wortrepräsentationen, auditives Gedächtnis) bei insgesamt 1.243 Kindern erhoben. Die Studie wurde zwischen Frühjahr 2012 und 2013 durchgeführt. Die Kinder besuchten die 2. Klasse. Die Leistungserhebungen wurden in 85 Schulklassen aus 29 unterschiedlich fluglärmbelasteten Grundschulen im Rhein-Main-Gebiet durchgeführt. Desweiteren erfolgten Befragungen der Kinder, Eltern und der Lehrkräfte bezogen auf das schulische, körperliche und psychische Wohlbefinden. Die Lebensqualität wurde erfragt mit dem Lebensqualitätsfragebogen (KINDL-R). Das psychische Wohlbefinden wurde analysiert mit Hilfe von 6 Fragen und jeweils 5 Antwortmöglichkeiten. Die körperliche Gesundheit wurde abgefragt mit drei Fragen (auch jeweils 5 Skalenwerte für die Antwort, von „niemals“ bis „fast immer“). Abgefragt wurde außerdem schulbezogene und wohnortbezogene Belästigung durch Lärm.

Die statistische Auswertung erfolgte in einer sogenannten Mehrebenenanalyse. Sie wurde ergänzt durch Gruppenvergleiche zwischen gering-, mittel- und hoch-exponierten Kindern.

Durchführungszeitraum:

Frühjahr 2012 – Frühjahr 2013. Die Lärmbelastung wurde für den Zeitraum 05/2011 bis 05/2012 sowohl für den Wohn- als auch für den Schulstandort der Kinder berechnet. Dieses entspricht dem Zeitbereich von einem Jahr vor Beginn der Untersuchung an den Schulen.

Confounder:

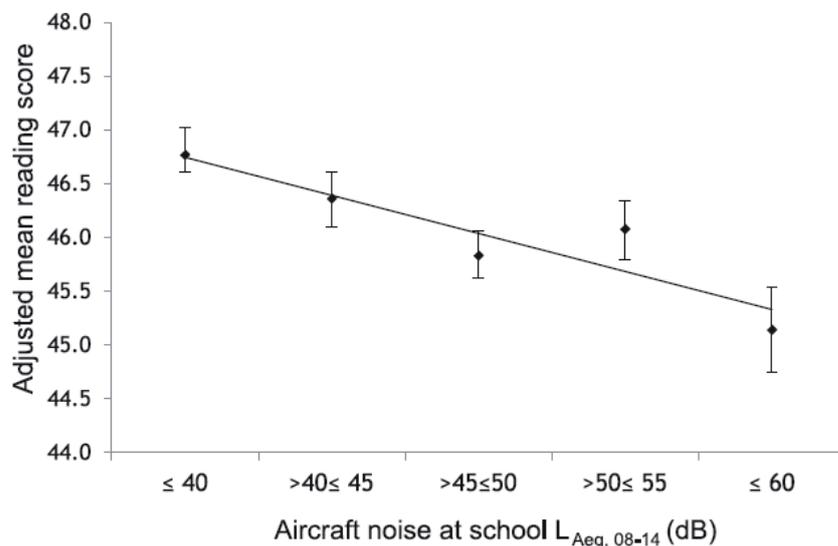
Die teilnehmenden Schulen wurden ausgesucht unter Betrachtung möglicher Confounder wie dem Migrantenanteil, Sozialstatus, Anzahl der Schüler. Erhoben wurden per Fragebogen an die Eltern erneut mögliche Confounder (Sozialstatus, Migrationshintergrund, Deutschkenntnisse) und Belastung durch andere Lärmquellen.

Tab. 40 Analyse des Parameters Fluglärmbelastung auf die Testergebnisse Wortverständnis, Satzverständnis und Textverständnis (nicht-adjustiert, teil-adjustiert und volladjustiert) bei allen Teilnehmern und in Subgruppen nach Migrationshintergrund (Klatte et al., 2016)

Alle Teilnehmer (n=1.090)						
	Nicht-adjustiert		Teil-adjustiert		Voll-adjustiert	
	b	p-Wert	b	p-Wert	b	p-Wert
Worte lesen	-0,086	0,112	-0,012	0,027	-0,105	0,049
Sätze lesen	-0,058	0,201	-0,077	0,086	-0,064	0,125
Text lesen	-0,097	0,064	-0,109		-0,118	0,005
Teilnehmer mit Migrationshintergrund (n=651)						
	Nicht-adjustiert		Teil-adjustiert		Voll-adjustiert	
	b	p-Wert	b	p-Wert	b	p-Wert
Gesamttestwert	-0,036	0,302	-0,061	0,152	-0,057	0,179
Worte lesen	-0,04	0,313	-0,079	0,151	-0,062	0,218
Sätze lesen	-0,01	0,448	-0,03	0,316	-0,021	0,376
Text lesen	-0,054	0,2	-0,072	0,099	-0,09	0,065
Teilnehmer ohne Migrationshintergrund (n=439)						
	Nicht-adjustiert		Teil-adjustiert		Voll-adjustiert	
	b	p-Wert	b	p-Wert	b	p-Wert
Gesamttestwert	-0,0151	0,057	-0,153	0,015	-0,142	0,03
Worte lesen	-0,017	0,041	-0,187	0,011	-0,172	0,024
Sätze lesen	-0,0133	0,102	-0,132	0,06	-0,109	0,107
Text lesen	-0,151	0,06	-0,14	0,02	-0,144	0,023

teil-adjustiert für Alter, Geschlecht und sozioökonomischer Status; voll-adjustiert zusätzlich für Straßenverkehrslärm und Schienenlärm zuhause

Abb. 42 Expositions-Wirkungskurve zwischen Fluglärmbelastung am Schulstandort und adjustierten globalen Lesetest-Werten der Kinder



Tab. 41 Schätzungen der Eltern für die Fluglärmwirkung im häuslichen Umfeld auf das kindliche Wohlbefinden (Klatte et al., 2016)

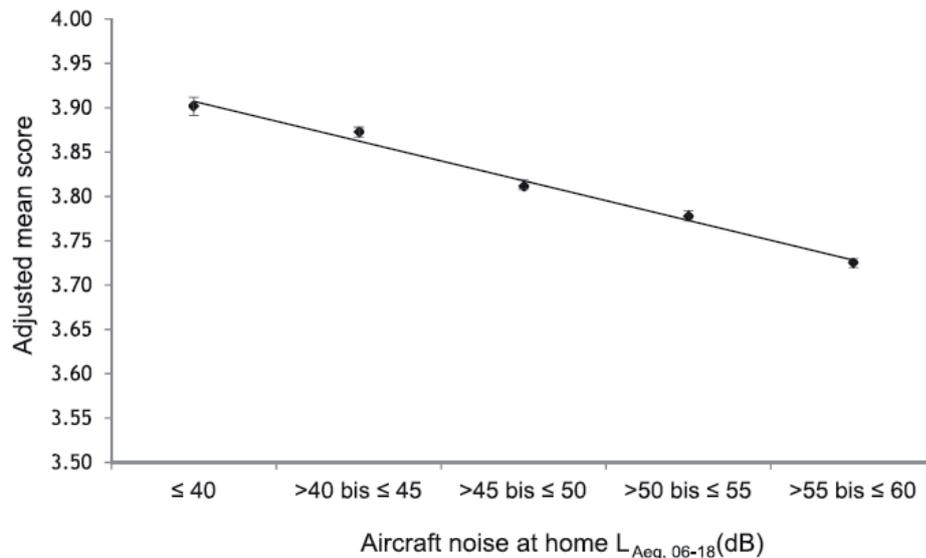
	Nicht-adjustiert		Teil-adjustiert		Voll-adjustiert	
	b	p-Wert	b	p-Wert	b	p-Wert
Körperliches Wohlbefinden	-0,012	0,011	-0,012	0,01	-0,012	0,017
Mentales Wohlbefinden	-0,01	0,001	-0,01	0,001	-0,01	0,001

teil-adjustiert für Alter, Geschlecht und sozioökonomischer Status; voll-adjustiert zusätzlich für Straßenverkehrslärm und Schienenlärm zuhause

Tab. 42 Schätzungen der Kinder für die Fluglärmwirkung in der Schule auf ihr Wohlbefinden und Belästigung (Klatte et al., 2016)

	Nicht-adjustiert		Teil-adjustiert		Voll-adjustiert	
	b	p-Wert	b	p-Wert	b	p-Wert
Wohlbefinden in der Schule	-0,011	0,087	-0,01	0,113	-0,013	0,044
Belästigung durch Fluglärm in der Schule	0,052	0,001	0,052	0,001	0,052	0,001

teil-adjustiert für Alter, Geschlecht und sozioökonomischer Status; voll-adjustiert zusätzlich für Straßenverkehrslärm und Schienenlärm zuhause

Abb. 43 Expositions-Wirkungskurve Elternbeurteilung mentales Wohlbefinden: Adjustierte Mittelwerte für 5 dB Bänder des Fluglärms am Wohnort (Klatte et al., 2016)

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

In der hier vorliegenden Studie lagen die Mittelungspegel bei < 60dB (deutlich niedriger als in vergleichbaren Studien). Trotzdem zeigten die Expositions-Wirkungsbeziehungen bei steigendem Geräuschpegel niedrigere Bewertungen für die kindliche Lebensqualität und höhere Bewertungen für die individuell empfundene Belästigung durch Fluglärm. In Testungen über das Leseverständnis der Kinder zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen schlechteren Testleistungen in einigen Testungen und der Lärmexposition am Schulstandort. Eine Zunahme von 20 dB des Geräuschmittelungspegels war assoziiert mit einer reduzierten Lese-Leistung entsprechend einem Rückstand von 2 Monaten. In den Testverfahren „Vorläuferfertigkeiten des Leseerwerbs“ zeigten sich keine Effekte durch Fluglärm.

Die Befragung der Lehrer gibt Hinweise darauf, dass zum Beispiel Unterbrechungen im Unterricht durch Fluglärm für die schlechtere Leseleistung verantwortlich sein könnten.

Kroesen M, Molin E, van Wee B. Determining the direction of causality between psychological factors and aircraft noise annoyance. *Noise and Health* (2010) 12 (46) 17-25

Fragestellung:

Kausalzusammenhang zwischen definierten psychologischen Faktoren und der Belästigung durch Fluglärm?

Methoden:

In einer Längsschnittuntersuchung wurden Fragen zu bestimmten psychologischen Faktoren und zur Belästigung durch Fluglärm per Fragebogenerhebung gestellt. Zur Mitarbeit aufgefordert wurden insgesamt 7.000 Personen, die innerhalb des L_{den} 45dB Gebietes rund um den Flughafen Amsterdam-Schiphol lebten. Die Antwortrate lag bei 9,2%. Nach 2 Jahren wurden sie erneut angeschrieben zu der zweiten Fragebogenerhebung. Nachdem Personen ausgeschlossen wurden, die mittlerweile nicht mehr im Einzugsgebiet lebten und 2 Personen, bei denen Angaben zu Alter oder Geschlecht divergierten, konnten insgesamt Daten von 250 Teilnehmern (>18 Jahre) ausgewertet werden. Die Fragebogenerhebungen erfolgten anhand eines speziellen Cross-Over-Musters, um eine aussagefähige Längsschnittbewertung der Daten zu gewährleisten.

Erfragt wurden Faktoren wie die wahrgenommene Störung des Alltags, Lärmsensitivität, Belästigung durch andere Faktoren, Angst vor einer Abwertung der Immobilie etc..

Confounder:

Die Autoren weisen darauf hin, dass mögliche Confounder bei dem vorliegenden Studiendesign schwer zu beseitigen sind. Teilnehmer mit einem höheren Bildungsabschluss und höherem Einkommen waren überrepräsentiert.

Durchführungszeitraum:

Erste Erhebung April 2006, zweite Erhebung April 2008.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Die Ergebnisse zeigten laut Autorengruppe, dass kein Pfad einer der abgefragten psychologischen Faktoren zum Parameter Belästigung durch Fluglärm signifikant war. Zwei Effekte waren andersherum signifikant. Erstens bestand ein Zusammenhang zwischen Belästigung durch Fluglärm bei der ersten Erhebung und „Besorgnis wegen der gesundheitsschädlichen Wirkung von Lärm“ bei der zweiten Erhebung. Zweitens gab es einen Zusammenhang zwischen der Belästigung durch Fluglärm bei der ersten Erhebung und dem „Glauben, dass Fluglärm vermeidbar ist“ bei der zweiten Untersuchung. Das heisst, in der Längsschnittuntersuchung erhöht die Angabe von Belästigung durch Fluglärm bei der ersten Untersuchung die Wahrscheinlichkeit für eine der beiden Faktoren bei Befragung 2. Insgesamt kann die Hypothese, dass die abgefragten Faktoren die Wahrscheinlichkeit für Belästigung durch Fluglärm im Längsschnittverlauf erhöhen, nicht bestätigt werden.

Desweiteren zeigte sich in dieser Untersuchung, dass Belästigung durch Fluglärm im Verlauf stabil vorhanden ist. Veränderungen der Belästigung durch Fluglärm sind korreliert mit verschiedenen psychologischen Faktoren.

Krog N, Engdahl B, Tambs K. Effects of changed Aircraft Noise Exposure on Experimental Qualities of Outdoor Recreational Areas. Int J Environ Res Public Health (2010) 7: 3739-3759

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Belästigung durch Fluglärm und Belästigung durch andere Faktoren in norwegischen Naherholungsgebieten im Umfeld des Osloer Flughafens vor und nach dem Umzug des Flughafens.

Methoden:

Es wurde eine Längsschnittuntersuchung mit Fragebogenerhebung per Telefon zu zwei Zeitpunkten durchgeführt. Befragt wurden Besucher, die wenigstens zweimal im vergangenen Jahr bzw. zweimal im Halbjahr ein bestimmtes Naherholungsgebiet aufsuchten. Ein Naherholungsgebiet (Bygdoy) lag im Umfeld des Flughafens Oslo vor dem Umzug. Das andere, Romeriksasen, war nach dem Umzug stärker durch Fluglärm belastet. Die Daten zur Fluglärmbelastung wurden durch Einzelmessungen im entsprechenden Gebiet abgeschätzt.

Die Telefoninterviews beinhalteten grundsätzlich Fragen zu Naherholungsgebieten. Um Sensibilisierung auf Lärm zu vermeiden, war dies nur ein Teilbereich des Fragebogens. Die Teilnehmer wurden neben der Belästigung durch Fluglärm auch befragt in Bezug auf Belästigung durch Hunde, Fahrzeuge, Fahrradfahrer, Straßenlärm, Überfüllung, Schussgeräusche und Baumarbeiten. Ausgewertet wurden letztlich 591 Datensätze für Bygdoy und 455 Datensätze für Romeriksasen.

Durchführungszeitraum:

Informationen über die Fluglärmbelastung eines Besuches im Naherholungsgebiet wurden 1998 und 1999 gewonnen.

Die Interviews wurden durchgeführt für Romeriksasen im Nov. 1997 und Nov. 1999. Für Bygdoy wurden sie geführt Mai-Juni 1998 und Mai-Juni 1999.

Confounder:

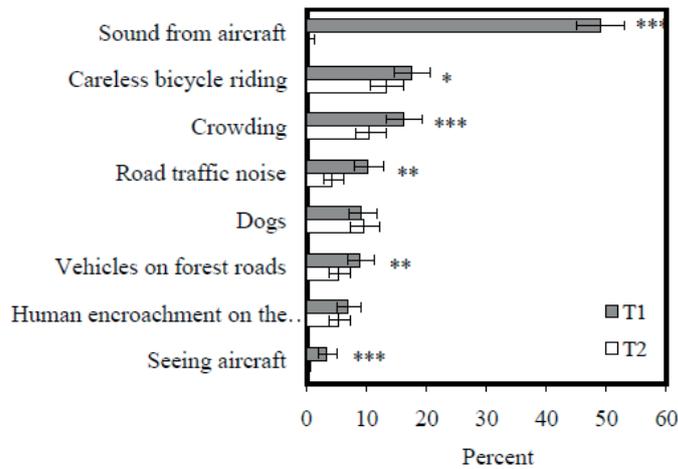
Um jahreszeitliche Besonderheiten auszuschließen, wurden die Erhebungen jeweils zur gleichen Jahreszeit durchgeführt.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Fluglärm stellte sich als die größte Quelle der Belästigung in dieser Untersuchung heraus, außer in Nähe des alten Flughafens nach dem Umzug. Die Abnahme der Belästigung durch Fluglärm nach dem Wechsel war begleitet von einer Abnahme der Belästigung durch andere Faktoren. Am Standort des neuen Flughafens nahm zwar die Belästigung nach dem Wechsel signifikant zu. Die übrigen Faktoren der Belästigung sorgten jedoch nicht signifikant für zusätzliche Belästigung.

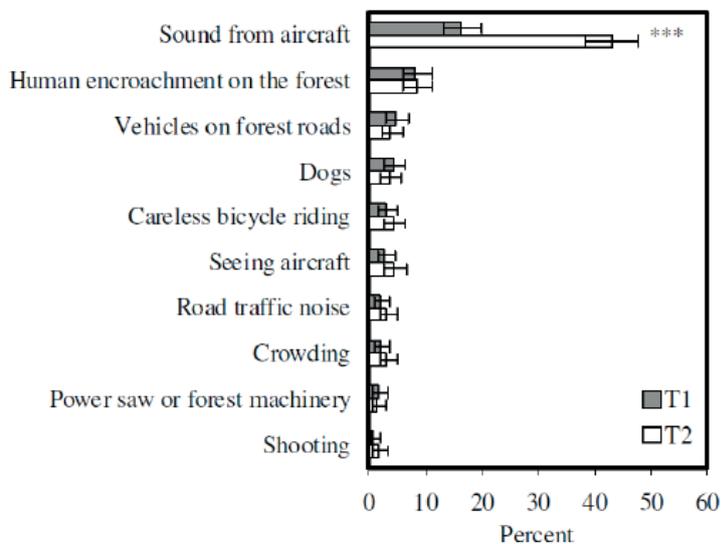
Es zeigte sich desweiteren ein Zusammenhang zwischen der Belästigung durch Fluglärm und der allgemeinen Zufriedenheit mit dem Naherholungsgebiet.

Abb. 44 Anteil belästigter Personen in Bygdoy durch den angegebenen Faktor mit Konfidenzintervall vor (T1) und nach (T2) dem Umzug (Krog et al. 2010)



- $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Abb. 45 Anteil belästigter Personen in Romeriksasen durch den angegebenen Faktor mit Konfidenzintervall vor (T1) und nach (T2) dem Umzug (Krog et al. 2010)



- $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Kwak KM, Ju YS, Kwon YJ, Chung YK, Kim BK, Kim H, Youn K. The effect of aircraft noise on sleep disturbance among the residents near a civilian airport: a cross-sectional study. Ann Occup Environ Med. (2016) Sep 2; 28(1): 38

Fragestellung:

Schlafstörungen durch Fluglärm bei Anwohnern eines Flughafens in Korea?

Methoden:

Befragung (door-to-door visit) von Anwohnern des Flughafens Gimpo, Korea; 3.308 Erwachsene (20-75 Jahre): Ausgeschlossen wurden Personen mit Depression oder mit unvollständigem Fragebogen.

Es wurden die Lärm-Daten der Seoul Regional Aviation Administration (SRAA) genutzt. Berechnet wurde der „Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level“ (WECPNL). Die Anzahl der Flugbewegungen in den Zeitscheiben Tag 7-19 Uhr und 19-22 Uhr, 22-24 Uhr und 0-7 Uhr wurden berücksichtigt. Der District wurde in 3 Belastungszonen gegliedert 75-80 WECPNL, 80-85 WECPNL und 95-90 WECPNL. Es existierte eine Kontrollgruppe außerhalb dieser Konturen.

Durchführungszeitraum:

März-April 2015

Confounder:

Geschlecht, Alter, Bildungsstand, Dauer Wohnort am selben Ort, Alkoholgenuss, Rauchen, körperliche Bewegung, stationärer Aufenthalt oder Operation im letzten Jahr.

Ergebnisse:

Die Mittelwerte für Tage mit Schlaflosigkeit und Tagesmüdigkeit waren in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Der prozentuale Anteil der Personen mit Schlaflosigkeit und Tagesmüdigkeit war in der Gruppe der Exponierten signifikant erhöht im Vergleich zu den Nicht-Exponierten. Nach Berücksichtigung der möglichen Confounder (Alter, Geschlecht, Bildung, Wohndauer unter Exposition, Lebensstilfaktoren etc.) hatten Menschen unter Fluglärmbelastung ein etwa 3-fach höheres Risiko für Schlafstörungen und Tagesmüdigkeit.

Tab. 43 Schlaflosigkeit/Schlafstörungen und Tagesmüdigkeit in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung und bei Kontroll-Personen (Kwak et al, 2016)

			Alle	Kontroll- gruppe	Niedrig- Exposition 75-80 WECPNL	Hoch- Exposition 80-90 WECPNL	p-Wert
Anzahl			3.308	477	1.403	1.428	
Insomnia Severity Index (ISI)	Mittelwert	n	6,9±6,4	4,1±5,1	7,2±6,5	7,6±6,4	<0,0001
	Normal	%	59,1	78,8	55,7	55,9	
	Leichte Schlaflosigkeit	%	27,1	15,7	30,4	27,7	
	Moderate Schlaflosigkeit	%	11,6	5,2	11,1	14,2	
	Schwere Schlaflosigkeit	%	2,2	0,2	2,8	2,2	
Epworth Sleep Scale (ESS)	Mittelwert	n	5,5±3,7	4,1±3,0	5,4±3,7	6,0±3,8	<0,0001
	Normal	%	86,2	94,5	86,5	83,2	
	Tagesschläfrigkeit	%	13,8	5,5	13,5	16,8	

Tab. 44 Multiple logistische Regression (OR) für Schlaflosigkeit und Tagesmüdigkeit in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung (Kwak et al., 2016)

		Kontroll- gruppe	Niedrig-Exposition 75-80 WECPNL	Hoch-Exposition 80-90 WECPNL
Anzahl		477	1403	1428
Insomnia Severity Index ISI	Modell 1	1	3,45*	3,24*
	Modell 2	1	3,41*	3,26*
Epworth Sleep Scale ESS	Modell 1	1	2,58*	2,57*
	Modell 2	1	3,43*	3,39*

*signifikant, Modell 1 korrigiert für Geschlecht, Alter, Bildungsstand, Dauer der Anwohnerschaft; Modell 2 korrigiert zusätzlich für Anamnese stationärer Aufenthalte und Operationen, Rauchen, Alkoholgenuss, körperliche Bewegung.

Schlussfolgerung der Autoren:

Das Auftreten von Schlaflosigkeit und Tagesmüdigkeit war in der Gruppe der Fluglärmexponierten erhöht im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Zur Klärung der Frage nach einem kausalen Zusammenhang sollten Studien mit direkten Lärmmessungen und einer objektiven Schlafevaluierung durchgeführt werden.

Matheson M, Clark C, Rocio M, van Kempen E, Haines M, Lopez Barrio I, Hygge S, Stansfeld S. The effects of road traffic and aircraft noise exposure on children's episodic memory: The RANCH project (2010) 12: 49, 244-54

Fragestellung:

Untersucht werden sollte der Zusammenhang zwischen chronischer Fluglärmexposition und dem Abschneiden bei mehreren standardisierten Gedächtnis-Tests. Miteinbezogen wurde bei dieser Untersuchung ebenfalls die Belastung durch Straßenverkehrslärm. Die Untersuchung wurde multizentrisch in insgesamt 3 europäischen Ländern durchgeführt (Großbritannien, Spanien, Niederlande) (RANCH-Studie; s. auch S.71).

Methode:

Die Gedächtnistestungen der hier vorliegenden Publikation orientieren sich am sogenannten Children's Memory Scale (CMS). Untersucht werden dabei vier spezifische Fähigkeiten: Information recall, Conceptual recall, Recognition Memory und Prospective Memory.

Ergebnisse:

In einer multivariaten Analyse konnte in einem der Tests (recognition memory, Wiedererkennung) eine Beeinträchtigung der Leistung durch Fluglärm nachgewiesen werden. In den übrigen Testungen (cued recall /Informations- und Begriffserinnerung, prospective memory/ „vorausschauende Erinnerung“) konnte kein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden. Für den Straßenverkehrslärm als Einflussfaktor fand sich bei den Testungen *cued recall* (Informations- und Begriffserinnerung) sogar eine Verbesserung in einem linearen Regressionsmodell. Keine signifikanten Beeinflussungen fand man für Straßenverkehrslärm und die übrigen Erinnerungstests (recognition, prospective memory).

Schlussfolgerung der Autoren:

Diese Studie gab Hinweise auf eine negative Assoziation zwischen Fluglärm und dem Item Wiedererkennen/Erinnern und auf eine positive Assoziation zwischen Straßenlärm und Informations/Begriffserinnerung. Kein Zusammenhang zeigte sich zwischen Fluglärm und Informations/Begriffserinnerung und „vorausschauender Erinnerung“. Desweiteren fand sich kein Zusammenhang zwischen Straßenlärm und Wiedererkennen/Erinnern oder „vorausschauende Erinnerung“. Insgesamt schlussfolgern die Autoren, dass einzelne Aspekte der Gedächtnisleistung bei Kindern durch Fluglärm beeinträchtigt werden können.

Abb. 46 Expositions-Wirkungsbeziehung für Straßenverkehr und „Information recall“ (links) und für „Conceptual recall“ (rechts) adjustiert für Alter, Geschlecht und Zentrum

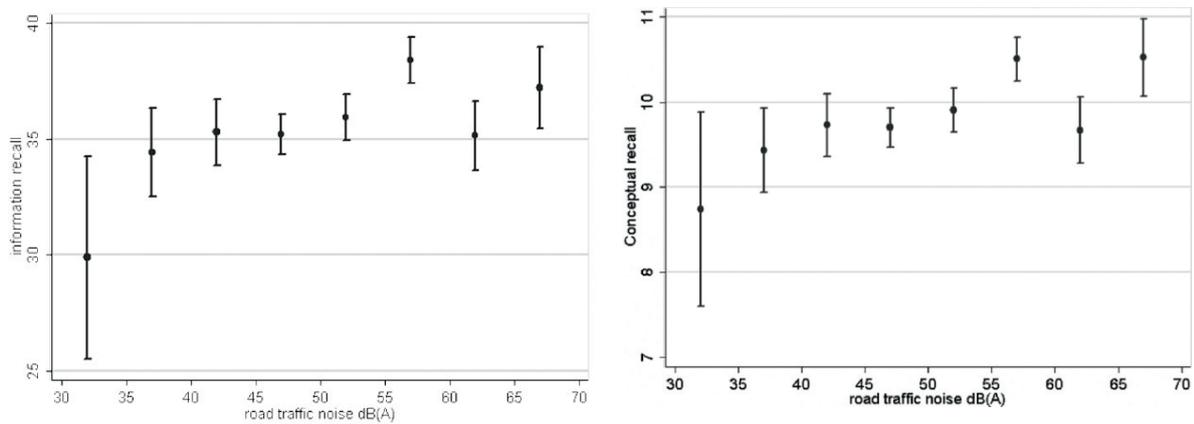
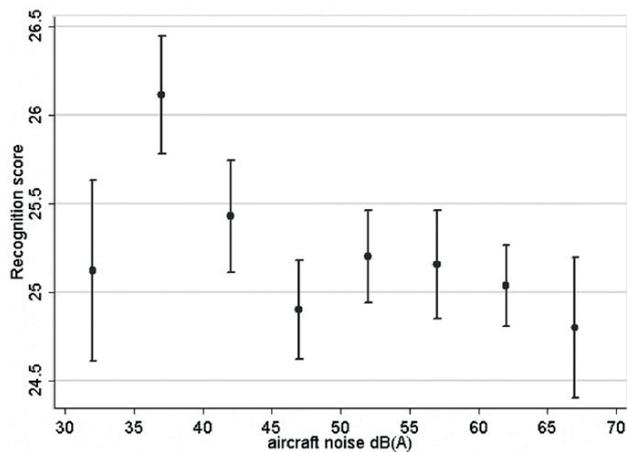


Abb. 47 Expositions-Wirkungsbeziehung für Fluglärm und „Recognition memory“ (Wiedererkennung)



Müller U, Aeschbach D, Elmenhorst EM, Mendolia F, Quehl J, Hoff A, Rieger I, Schmitt S, Littel W. NORAH – Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Fluglärm und nächtlicher Schlaf. Endbericht Band 4. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. 2015

Fragestellung:

Im Modul Gesundheit, Teilstudie Schlaf, der NORAH-Studie ging es hauptsächlich darum, die Auswirkungen von Änderungen des Flugverkehrs im Umfeld des Flughafens Frankfurt auf den Schlaf im Trend zu untersuchen und die Ergebnisse mit einer früheren Untersuchung im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn zu vergleichen. Es sollte überprüft werden, ob die Expositions-Wirkungs-Kurven ermittelt am Flughafen Köln/Bonn 2001/2002 auch auf andere Flughäfen übertragbar sind.

Es sollte desweiteren untersucht werden, ob Personen, die habituell eher früh oder eher spät zu Bett gehen bzw. aufstehen, unterschiedlich stark belastet sind?

Desweiteren war Ziel, eine Methode zu entwickeln und zu validieren, die ermöglicht, auf die sehr aufwendige Methode der Polysomnografie zu verzichten. Diese sogenannte vegetativ-motorische Methode (EKG, Körperbewegungen) hat den Vorteil, dass nicht unbedingt ein Untersucher an jedem Abend anwesend sein muss.

Methode:

Die Expositions-Wirkungs-Kurve bezieht sich in dieser Teilstudie auf die akute Belastung durch den Luftverkehrslärm gemessen im Schlafräum der Person und die Luftverkehrs-bedingten Aufwachreaktionen (Feldstudie). Die Untersuchung im Umfeld des Frankfurter Flughafens wurde durchgeführt zwischen 2011-2013. Im Oktober 2011 traten Änderungen im nächtlichen Betrieb des Flughafens in Kraft (Einführung der sog. Kernruhezeit, Verschiebung von Flugbewegungen in die Tages-, Nachtrandstunden). Es wurden Messungen davor und danach durchgeführt. Untersucht wurden insgesamt 202 Personen, die im Zeitraum der Untersuchung in Gebieten mit erwartungsgemäß hohem nächtlichen Flugverkehrsaufkommen lebten.

In der ersten (vor Einführung der Kernruhezeit, 2011) und zweiten Untersuchungsperiode (2012) wurden erwachsene sog. „schlaf-gesunde“ Personen an drei aufeinanderfolgenden Nächten polysomnografisch untersucht (EEG, Sauerstoffsättigung des Blutes, Muskelspannung, Augen-, Atem- und Herzaktivität). Es wurden auch Körperbewegungsdaten aufgezeichnet. In der dritten Messperiode 2013 wurde nur die einfachere Methode (vegetativ-motorische Methode) angewandt.

Gleichzeitig wurde jeweils der Schalldruckpegel im Schlafräum bestimmt.

Zusätzlich wurden die Teilnehmer gebeten, ihre individuelle Belastung durch Luftverkehrgeräusche einzuschätzen und die Schlafqualität in der Untersuchungsnacht anzugeben.

Durchführungszeitraum:

2011-2013

Confounder:

Zur Beurteilung möglicher Confounder wurden Informationen registriert wie Geschlecht, Alter, Anzahl im Haushalt lebender Personen, Erwerbstätigkeit, Schulabschluss, Einkommen, Wohnungstyp, präferierte Partei, Lärmempfindlichkeit und Zufriedenheit mit der Lautstärke am Wohnort.

*Ergebnisse***Untersuchung im Umfeld des Frankfurter Flughafens vor und nach Einführung der Kernruhezeit.**

Tabelle 45 zeigt die Fluglärmbelastungsdaten aus der NORAH-Untersuchung 2011-2013 im Vergleich mit den Ergebnissen der Untersuchung im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn im Jahr 2001/2002. Im Umfeld des Frankfurter Flughafens waren im Jahr 2011 über die ganze Nacht Überflugeräusche zu erkennen, die in den Jahren 2012 und 2013 zwischen Mitternacht und 5 Uhr nahezu Null waren. Durch die Zunahme der Überflugeräusche in der „Tagesrandzeit“ 5-7 Uhr nahm aber die Anzahl der Überflugeräusche im Jahr 2012 (nach Einführung der sog. Kernruhezeit) nicht ab; eine solche Abnahme war erst 2013 erkennbar.

Tab. 45 Fluglärmbelastungsdaten Frankfurt 2011 bis 2013 im Vergleich mit Köln/Bonn 2001/2002 (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littell W. 2015)

	NORAH 2011	NORAH 2012	NORAH 2013	Köln-Bonn 2001/2002
Probanden	49	83	187	61 (9 Nächte)
Mittlere stündliche Anzahl der Überflugeräusche	N	N	N	N
22:30-23 Uhr	7,5	6,4	4,3	1,4
23-0 Uhr	8,9	1,3	0,2	6,0
0 – 1 Uhr	3,7	0,5	0,1	2,7
1-2 Uhr	1,4	0,3	0,0	3,3
2-3 Uhr	1,4	0,2	0,0	6,2
3-4 Uhr	1,4	0,2	0,0	7,0
4-5 Uhr	3,1	1,3	0,6	2,7
5-6 Uhr	10,4	14,7	9,6	---
6-7 Uhr	---	14,5	7,1	---
Überflugeräusche 22:30- 7 Uhr	37,8	39,4	22,1	29,3
Medianwerte	Andere Dimensionen			
Maximalpegel dB(A)	44,0	46,0	40,0	43,8
Überflugeräuschlänge sec	69,0	65,0	64,0	80,0
Pegel-Anstiegsteilheit (dB(A)/sec)	2,0	2,0	2,0	2,6
Energieäquivalenter Dauerschallpegel Überflugeräusche dB(A)	30,0	29,0	19,0	26,0
Energieäquival. Dauerschallpegel Gesamtnacht dB(A)	33,0	34,0	31,0	33,1

Im Vergleich der Jahre 2011 und 2012 (vor und nach Einführung der Kernruhezeit) zeigen sich für Gesamtschlafzeit, Einschlaflatenz, Schlafeffizienz, die Wachzeit nach dem Einschlafen und die Wachzeit nach 04:30 Uhr keine signifikanten Unterschiede (Tab. 46). Zwischen der Bettzeitgruppe 1 (Frühschläfer) 2011 (vor Einführung der Kernruhezeit) und 2012 sowie zwischen den beiden Bettzeitgruppen (Früh- und Spätschläfer) 2012 waren keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtschlafdauer, der Tiefschlafdauer, dem Anteil Tiefschlafdauer an der Gesamtschlafdauer, der Einschlaflatenz, der REM-Schlafdauer, der Wachdauer nach dem Einschlafen, der Differenz zwischen geplantem und tatsächlichem Schlafende nachweisbar. Wird die gesamte Schlafzeit betrachtet, kam es wegen der Verringerung der Flugbewegungen zu einer geringeren Anzahl von nächtlichen Aufwachreaktionen. Dieses schlägt sich jedoch nicht in der Bewertung der Teilnehmer in Bezug auf Müdigkeit und Schläfrigkeit am Tage nieder (Tab. 47).

Tab. 46 Daten zur Schlafqualität Frankfurt 2011 bis 2013 im Vergleich mit Köln/Bonn 2001/2002 (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015)

	NORAH 2011	NORAH 2012	NORAH 2013	Köln-Bonn 2001/2002
Probanden nach Bettzeit (BZ)	48 BZ1	38 BZ1	41 BZ 2	BZ 0-6
Verwendete Fluglärmereignisse (ungestörte Geräusche) n (%)	2889	1196	1893	10658
Fluglärm ass. Aufwachreaktionen n (%)	210 (7,3%)	73 (6,1%)	154 (8,1%)	9,8%
Gesamtschlafdauer Minuten	425,5	427,8	426,9	410,2
Einschlaflatenz Minuten	13,9	14,5	13,1	18,3
Schlafeffizienz (Gesamtschlafdauer/Zeit i.Bett) %	90	90	91	87
Tiefschlafdauer Minuten	-	106,2	103,5	57,8
Tiefschlafdauer /Gesamtschlafdauer (%)	-	25	24	14
REM-Schlafdauer	-	100,1	96,0	96
Wachdauer nach dem Einschlafen Minuten	36,7	34,4	33,8	42
Differenz zw. geplantem und tatsächlichem Schlafende in Minuten	3,3	5,4	5,7	--
Wachanteil von 4:30 bis geplantem Schlafende %	14	14	12	--

Tab. 47 Befragung der Teilnehmer im Umfeld des Flughafens Frankfurt nach subjektivem Empfinden der letzten Nacht (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015)

	2011	2012	2013
Subjektive Aufwachhäufigkeit	% der Probanden	% der Probanden	% der Probanden
1-2mal	65	55	58
3mal	16	26	22
Mind. 4mal	19	19	20
Ursache			
Geräusche von draußen	11	10	10
„kein Grund“	32	38	46
Andere Gründe	35	22	27
Schläfrigkeit am Morgen (Mediane) (Skala: 1 sehr wach – 9 sehr schläfrig)	Ca. 4	Ca. 4	Ca. 5
Müdigkeit am Morgen nach dem Aufstehen (Mediane) (Skala 0 hellwach – 20 todmüde)	Ca. 10	Ca.10	Ca. 11
Subjektive Schlafbewertungen			
Einschlafen	35	31	40
Ruhe vs. Unruhe	37	37	48
Schlaftiefe	35	35	41
Schlafdauer	48	48	42
Schlaferholung	42	40	49
Bewegungshäufigkeit	50	45	55

Teilnehmer, die auch eine negative Einstellung zum Flugverkehr angaben, hatten eine signifikant verlängerte Einschlafzeit, sie verbrachten mehr Zeit im Wachen (in der Zeitspanne vom Einschlafen bis zum Aufwachen) und ihre Schlafeffizienz war signifikant geringer. Über eine Kausalitätsbeziehung kann keine Aussage getroffen werden (ob der gestörte Schlaf eine negative Einstellung nach sich zieht oder umgekehrt).

Schlafqualität im Umfeld des Flughafens Frankfurt 2011/2013 im Vergleich mit Köln-Bonn 2001/2002

Im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn lag die Anzahl der Flugbewegungen zwischen 23 und 5-6 Uhr deutlich über der im Umfeld des Frankfurter Flughafens; die fluglärmassoziierten Aufwachreaktionen waren im Umfeld des Köln-Bonner Flughafens häufiger, die Dauer bis zum Einschlafen und die nächtliche Wachzeit nach dem Einschlafen war signifikant länger, die Tiefschlaf- und die REM-Schlafdauer kürzer und die Schlafeffizienz schlechter als im Umfeld des Frankfurter Flughafens (Tab. 43, 44; Abb. 49 und 50). D.h.: Untersuchungen zur Schlafqualität im Umfeld eines Flughafens sind nicht automatisch auf die Situation im Umfeld anderer Flughäfen übertragbar.

Abb. 48 Nächtlicher Verlauf der mittleren Anzahl an Fluglärmereignissen (oben) und Fluglärmassoziiertes Aufwachreaktion (unten) in halbstündigen Intervallen pro Proband und Nacht (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littell W. 2015)

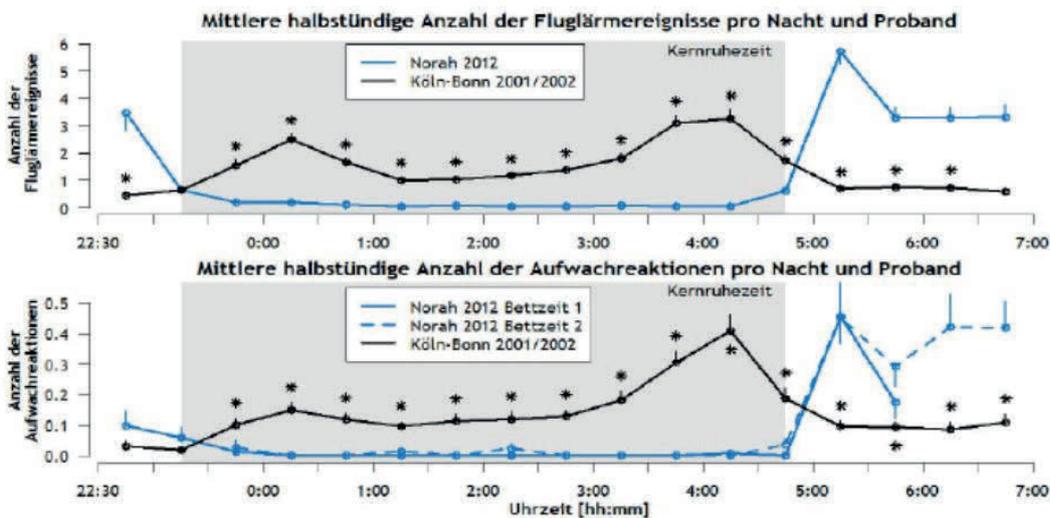
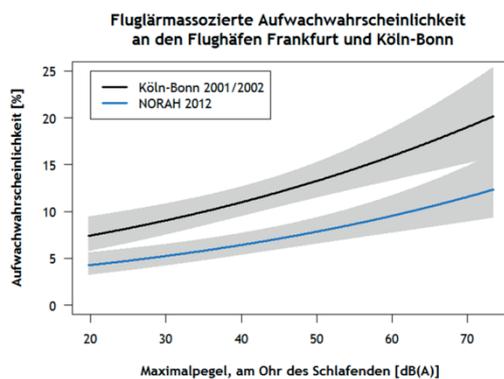
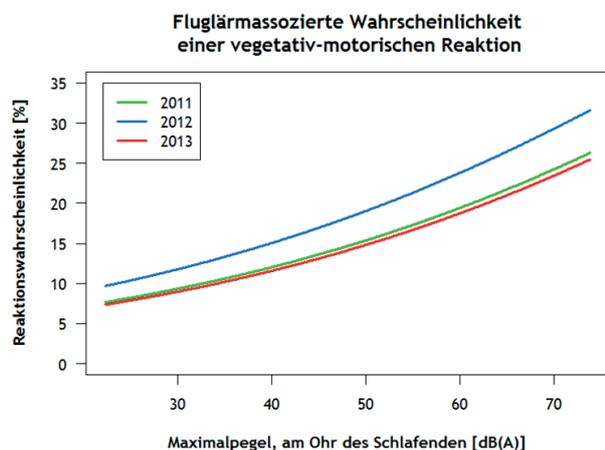


Abb. 49 Fluglärm-bedingte Aufwachreaktion Frankfurt und Köln/Bonn (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015)
Vegetativ-motorische Reaktion als Indikator für Auswachreaktionen



Bislang wurden Untersuchungen von Umweltlärm auf die Schlafqualität und Aufwachreaktionen sehr aufwändig mit der Polysomnographie (EEG, EKG, Aktometer, Sauerstoffsättigung etc.) untersucht. Die Messgeräte mussten den Probanden vor dem Zu-Bett-Gehen von den Untersuchern angelegt und am nächsten Morgen abgenommen werden. Da dieses Verfahren extrem aufwändig ist, konnten bislang immer nur wenige Probanden in ihrem häuslichen Umfeld („im Feld“) untersucht werden. Deswegen sollte im Rahmen der NORAH-Studie versucht werden, ein einfacheres Verfahren zu entwickeln und im Vergleich mit der Polysomnographie zu evaluieren. Die Untersucher entwickelten das Verfahren der vegetativ-motorischen Reaktion (VMR): dabei werden Aufwachreaktionen mit einer Kombination von EKG und Aktometrie untersucht. Es zeigte sich, dass die VMR sehr sensibel Aufwachreaktionen erfassen kann (Abb. 50). In den ersten beiden Untersuchungszeiträumen traten vegetativ-motorische Reaktionen (VMR) bei gleichem Maximalpegel mit höherer Wahrscheinlichkeit auf als im EEG gemessene Aufwachreaktionen. Daher scheinen VMR ein probates und empfindliches Maß für Lärm-induzierte Störungen zu sein. Da für diese Methode die Probanden sich selbst die erforderlichen zwei Elektroden anlegen können, ist das Verfahren weit weniger aufwändig als die Polysomnographie und ermöglicht nun die Untersuchung größerer Probandenkollektive – ggf. auch nicht schlafgesunder Personen oder auch von Kindern.

Abb. 50 Fluglärmassoziierte Wahrscheinlichkeit einer „vegetativ-motorischen Reaktion“ (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015)



Pearson T, Campbell MJ, Maheswaran R. Acute effects of aircraft noise on cardiovascular admissions - an interrupted time-series analysis of a six-day closure of London Heathrow Airport caused by volcanic ash. *Spat Spatiotemporal Epidemiol.* (2016) Aug; 18:38-43.

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen akuter Fluglärmbelastung und der stationären Aufnahme wegen kardiovaskulärer Ereignisse.

Methoden:

Im Zusammenhang mit der Sperrung des Flughafens London Heathrow im April 2010 wegen Vulkanasche (Vulkanausbruch in Island) wurden die stationären Aufnahmen bei kardiovaskulären Ereignissen evaluiert. Hintergrund der Fragestellung war, ob es durch das Ausbleiben von Fluglärm auch zu einer Reduktion von kardiovaskulären Akutereignissen im Einzugsgebiet des Flughafens London Heathrow gekommen ist. Analysiert wurde die Bevölkerung im Gebiet mit Lärmbelastung 55 dB. Die Lärmdaten entsprangen dem 2011 Noise Contour Mapping der britischen Luftverkehrsbehörde. Die stationären Aufnahmen wegen kardiovaskulären Ereignissen wurden den entsprechenden ICD-10 Codes im betreffenden Gebiet entnommen.

Die Bevölkerung, die das entsprechende Gebiet bewohnt, beläuft sich auf 724.250 Einwohner. Desweiteren wurde ein Kontrollgebiet betrachtet. Dieses wurde festgelegt mit einem 20 km Puffer zu dem Analysegebiet rund um London Heathrow. Das Kontrollgebiet beinhaltete ca. 8,8 Millionen Einwohner.

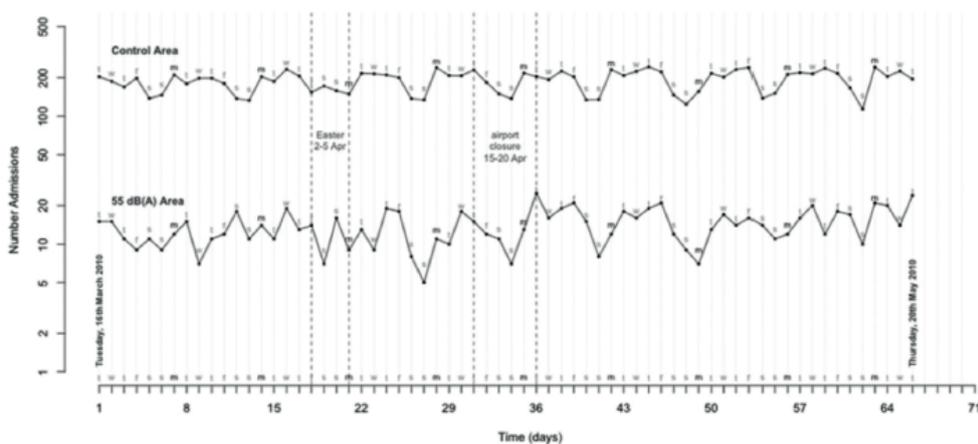
Durchführungszeitraum:

Sperrung wegen Vulkanasche April 2010, Kontrollzeitraum 66 Tage zwischen 16.03.2010 und 20.05.2010 unmittelbar vor und nach Schließung des Flughafens.

Confounder:

Um für mögliche andere Einflussfaktoren auf die stationäre Aufnahmewahrscheinlichkeit korrigieren zu können, wurde das Kontrollgebiet mit einbezogen.

Abb. 51 Anzahl täglicher stationärer Aufnahmen wegen kardiovaskulären Erkrankungen im Gebiet der 55 dB Fluglärmbelastung (Pearson T, Campbell MJ, Maheswaran R 2016)



Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Das Analysegebiet rund um London Heathrow zeigte eine mittlere tägliche Aufnahme von Patienten wegen akuten kardiovaskulären Ereignissen von 13,9. Im Kontrollgebiet zeigte sich eine mittlere tägliche Aufnahme von 189,3 Patienten. In beiden Gebieten waren die stationären Aufnahmen am Wochenende seltener.

Es zeigte sich in allen Analysemethoden keine signifikante Reduktion der Aufnahmen wegen kardiovaskulärer Ereignisse im Zeitraum der Schließung des Flughafens London Heathrow.

Perron S, Plante C, Ragetti MS, Kaiser DJ, Goudreau S, Smargiassi A. Sleep Disturbance from Road Traffic, Railways, Airplanes and from Total Environmental Noise Levels in Montreal. Int J Environ Res Public Health. 2016 Aug 11;13(8).

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen subjektiv empfundenen Schlafstörungen und Verkehrslärm (Straße, Bahn, Flug) (siehe auch Ragetti et al., 2016).

Methoden:

Es wurde eine Telefon-basierte Befragung von 4.336 Personen über 18 Jahren durchgeführt, die im Bereich der Großstadt Montreal, Canada (1,5 Millionen) lebten. Die Teilnehmer wurden nach ihrer individuell empfundenen Schlafqualität bzw. Störung des Nachtschlafes durch Straßen-, Bahn- und Fluglärm befragt. Die Frage zum Thema Schlafqualität wurde gestellt: "Wurde Ihr Schlaf in den letzten 4 Wochen durch Lärm gestört?" Wenn ja, konnte aus einer Liste mehrerer Geräuschverursacher gewählt werden (insgesamt 12). Darunter befanden sich auch Straßen-, Bahn- und Fluglärm.

Die Lärmdaten wurden erhoben als L_{night} in Bezug auf die Postleitzahl des Teilnehmers. Das zugrundeliegende (Land Regressions-) Modell wurde gewonnen aus insgesamt 204 Geräuschmessungen an 175 Stellen, die während einer 2 Wochen-Periode im Frühjahr 2010 und im Sommer 2014 gemessen wurden (jeweils für 5 Tage). Der Zeitraum L_{night} bezieht sich auf 23:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Desweiteren wurde zusätzlich zu L_{night} für jeden Teilnehmer auch die Entfernung zur nächsten Lärmquelle registriert.

Durchführungszeitraum:

Telefonbefragung 2014, Fluglärmdata wurden entsprechend der kanadischen Noise Exposure Forecast zone 25 im Jahr 2009 erhoben.

Confounder:

Der Fragebogen beinhaltete auch Fragen zu sozio-demographischen Spezifika (Alter, Geschlecht, Bildung), selbst-angegebener Lärmempfindlichkeit und Belästigung.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Der Anteil der Personen, die sich durch Verkehrslärm gestört fühlten, lag bei 4,2%, 1,5% und 1,1% respektive (Straße, Flug, Bahn). Es wurden Regressionsmodelle angefertigt, um den Anteil von gestörtem Schlaf als Funktion des nächtlichen Lärm-Aufkommens (L_{night}) und dem Abstand zur Lärmquelle zu zeigen. Der Anteil von gestörtem Schlaf stieg in dieser Untersuchung je nach Nähe zur Lärmquelle und mit steigendem L_{night} .

Abb. 52 Entfernung zu Lärmquelle Fluglärm (a), Straße (b), Bahn (c) und Schlafstörung (95% Konfidenzintervall) (Perron et al., 2016)

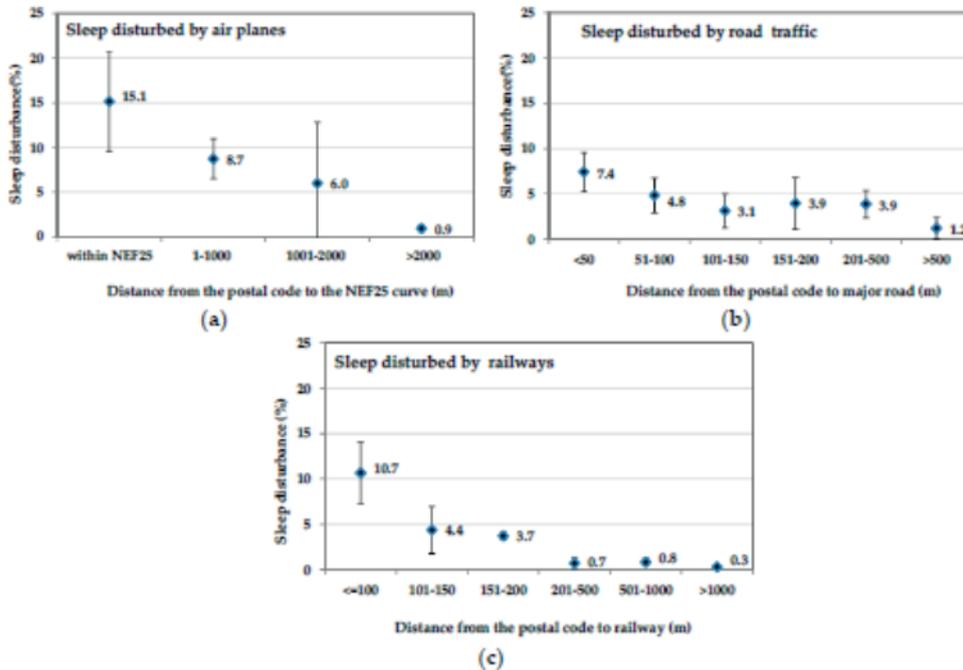
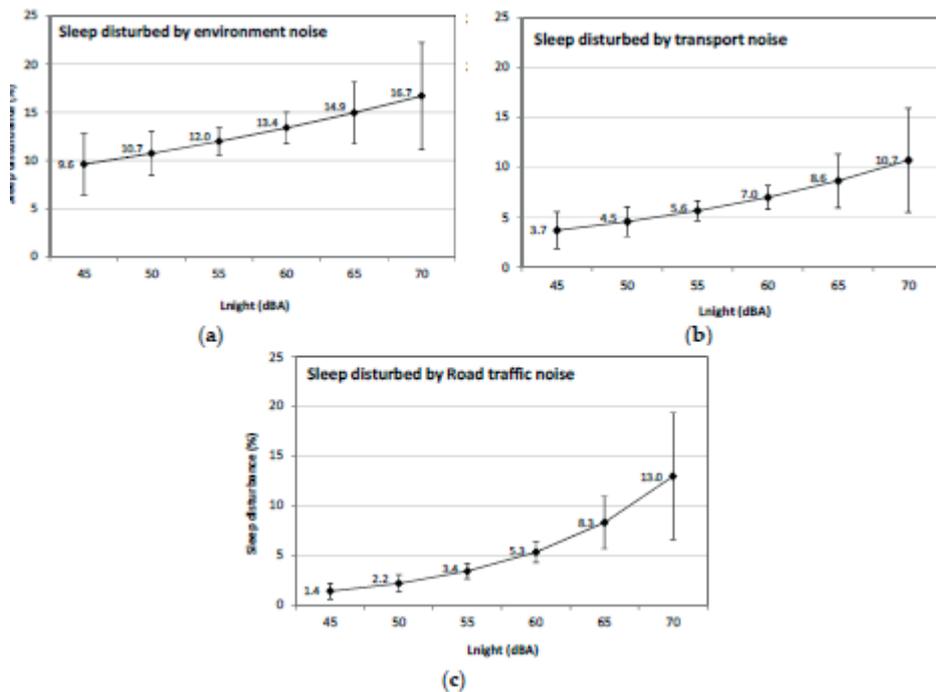


Abb. 53 Schlafstörung (95% Konfidenzintervall) durch Umweltlärm (a), Verkehrslärm (b), Straßenlärm (c) in Abhängigkeit von L_{night} (Perron et al., 2016)



Ragetti MS, Goudreau S, Plante C, Perron S, Fournier M, Smargiassi A. Annoyance from Road Traffic, Trains, Airplanes and from Total Environmental Noise Levels. Int J Environ Res Public Health. (2015) Dec 29;13(1).

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen individuell empfundener Belästigung durch Lärm und der Distanz zur jeweiligen Lärmquelle sowie zum Gesamtlärmpegel (siehe auch Perron et al., 2016).

Methoden:

Es wurde eine Telefon-basierte Befragung von 4.336 Personen über 18 Jahren durchgeführt, die im Bereich der Großstadt Montreal, Canada (1,5 Millionen) lebten. Die Teilnehmer wurden nach ihrer individuell empfundenen Belästigung durch Lärm in den vergangenen 12 Monaten befragt. Die Teilnehmer konnten Punktwerte (5-stufige Skala) zwischen „überhaupt nicht“ und „stark belästigt“ und die jeweilige Lärmquelle angeben. Es konnte aus insgesamt 8 Lärmquellen gewählt werden. Darunter befanden sich Straßen-, Bahn- und Fluglärm.

Die Lärmdaten wurden erhoben als L_{night} in Bezug auf die Postleitzahl des Teilnehmers. Das zugrundeliegende (Land Regressions-) Modell wurde aus insgesamt 204 Geräuschmessungen an 175 Stellen gewonnen, die während einer 2-Wochen-Periode im Frühjahr 2010 und im Sommer 2014 gemessen wurden (jeweils für 5 Tage). Der Zeitraum L_{night} bezieht sich auf 23:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Desweiteren wurde zusätzlich zu L_{night} für jeden Teilnehmer auch die Entfernung zur nächsten Lärmquelle registriert.

Durchführungszeitraum:

Telefonbefragung 10.04. – 20.06.2014, Fluglärmkarten wurden entsprechend der kanadischen Noise Exposure Forecast zone 25 im Jahr 2009 erhoben.

Confounder:

Der Fragebogen beinhaltete auch Fragen zu sozio-demographischen Spezifika (Alter, Geschlecht, Bildung, Einkommen, Bewohner im Haushalt, Wohndauer am selben Wohnort).

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Der Anteil der Bevölkerung, die durch Straßen-, Flug- oder Bahnverkehrslärm belästigt waren, lag bei 20,1%, 13,0% und 6,1%. Mit steigender Distanz zu den Lärmquellen sank der Anteil der Personen, die durch Lärm belästigt oder stark belästigt waren. Der Anteil der stark durch Fluglärm Belästigten stieg für den berechneten äquivalenten Schalldruckpegel $L_{\text{aeq}24\text{h}}$ um den Faktor 1,1 pro 1dB. Für die Lärmbelastung am Tag L_{den} stieg sie um den Faktor 1,04 pro 1 dB Mehrbelastung im Lärmmodell. Die Untersuchung ist eine der wenigen Studien zu Belästigung durch Transportlärm in Nord-Amerika.

Schmidt F, Basner M, Kröger G, Weck S, Schnorbus B, Muttray A, Sariyar M, Binder H, Gori T, Warnholtz A, Münzel T. Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. *European Heart Journal* (2013) 34, 3508-3514

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Faktoren der endothelialen Funktion, der Schlafqualität und Adrenalin bei gesunden Versuchspersonen (als Mechanismus des Effektes von Fluglärm auf kardiovaskuläre Erkrankungen).

Methoden:

Eingeschlossen wurden 75 gesunde Versuchspersonen zwischen 20 und 60 Jahren. Sie wurden in ihrem häuslichen Umfeld jeweils mit eingespieltem Fluglärm entsprechend 30 Lärmereignissen (Noise30) oder 60 Lärmereignissen (Noise60) pro Nacht beschallt. In einer Kontrollnacht wurden keine Lärmereignisse eingespielt. Die Reihenfolge divergierte zwischen den Studienteilnehmern. Gleichzeitig fanden polysomnographische Messungen statt, EKG, Sauerstoff-Sättigungsmessungen, Laborkontrollen und entsprechende Befragungen der Teilnehmer zu sozio-demographischen Faktoren und zur Schlafqualität in der vergangenen Nacht.

Die Lärmaufzeichnungen stammten aus einem Anwohnerzimmer des Flughafens Düsseldorf, gemessen bei gekipptem Fenster. Sie wurden in definierter Entfernung vom Ohr des jeweiligen Teilnehmers abgespielt.

Zur Abschätzung der endothelialen Funktion wurde die fluss-vermittelte Vasodilatation (Gefäßerweiterung) gemessen (FMD) per Ultraschall und zwar am Morgen nach der Versuchsnacht in der Armarterie (Arteria brachialis). Dieser Wert setzt sich zusammen aus einem Wert in Ruhe und nach 5 Minuten Anlegen einer Blutdruckmanschette. Die prozentuale Abweichung kann als Marker der endothelialen Funktion verstanden werden.

Confounder:

Von der Studie ausgeschlossen waren Fluglärmgegner, Personen mit Hörstörungen und Personen, die wohnort-bezogen starkem Lärm ausgesetzt sind (in Lärm-Kontour-Karten >40 dB Fluglärm, >45 dB Straßen-, Bahnverkehr). Auch ausgeschlossen wurden Personen mit bekannten Schlafstörungen oder psychiatrischen Erkrankungen. Kaffee, Tee, Nikotin oder Schlafmedikation war in den Tagen vor den Studienächten nicht erlaubt.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Die im Schlafzimmer der Probanden gemessenen nächtlichen Dauerschalldruckpegel lagen im Mittel bei 49,6 dB in der Kontrollgruppe, bei 59,9 dB in der Noise30 Gruppe und bei 60,9 dB in der Noise60 Gruppe. Mit zunehmenden Geräuschereignissen gaben die Probanden eine signifikant schlechtere Schlafqualität an ($p < 0,001$).

Der zur Bewertung der endothelialen Funktion herangezogene FMD-Wert zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kontrolle: 10,4 +/- 3,8%; Noise30: 9,7 +/- 4,1%; Noise60: 9,5 +/- 4,3%).

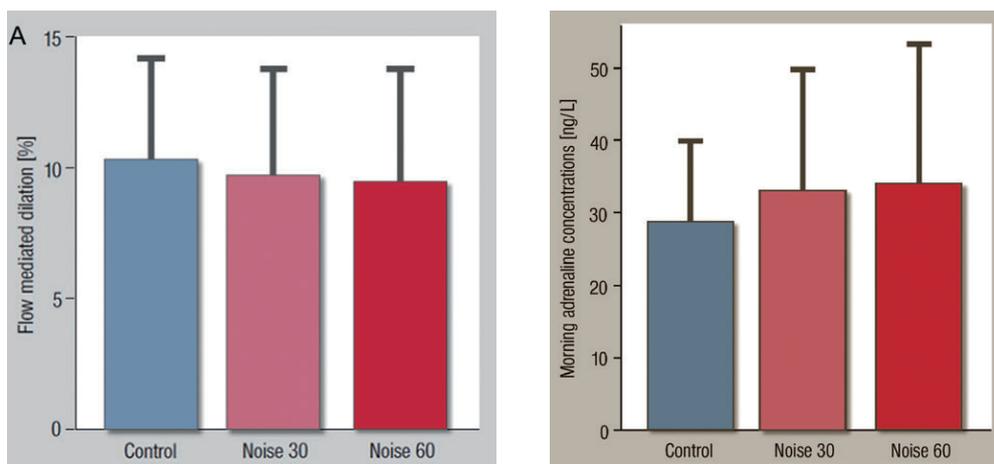
In einer weiteren Auswertung, in der für alle drei Gruppen die Lärmexposition als pseudo-kontinuierliche Variante berechnet werden sollte, konnte ein Zusammenhang zwischen der Exposition und FMD gezeigt werden.

Die Verabreichung von Vitamin C am Morgen und zwar nach der ersten FMD-Messung und vor einer weiteren hatte einen positiven Effekt auf die endotheliale Funktion in einer zweiten Messung nach 2 Stunden.

Es wurde auch der Effekt auf weitere hämodynamische Parameter (Herzfrequenz mittel/max, Blutdruck syst., Blutdruck Anstiegsamplitude etc.) und Laborwerte (Adrenalin, Cortisol, Granulozytenzahlen, IL-6, CRP) untersucht. Es zeigte sich von den untersuchten Parametern ein signifikanter Effekt zwischen den Gruppen (kontrolle, Noise 30, Noise 60) für die sogenannte *Puls Transit Zeit* und für das Stresshormon *Adrenalin*.

Die Autoren schlussfolgern auf eine mögliche Vermittlung von Bluthochdruck durch nächtlichen (Flug)Lärm über eine erhöhte sympathische Aktivierung und/oder vaskuläre Dysfunktion.

Abb. 54 Effekte in der Noise 30 und Noise 60 Gruppe im Vergleich zur Kontrolle auf FMD (links) und Adrenalin (rechts) (Schmidt F, Basner M, Kröger G, Weck, Schnorbus B, Muttray A, Sariyar M, Binder H, Gori T, Warnholtz A, Münzel T 2013)



Schmidt F, Kollé K, Kreider K, Schnorbus B, Wild P, Hechtner M, Binder H, Gori T, Münzel T. Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in Patients with or at high risk for coronary artery disease. Clin Res Cardiol (2015) 104 (1): 23-30

Fragestellung:

Einfluss von nächtlichem Fluglärm (in einer Fluglärm-Simulation im Schlafzimmer des Studienteilnehmers) auf die endotheliale Funktion, gemessen in FMD (Flow-Mediated Dilatation) in der Armarterie (Arteria brachialis), Gefäßdurchmesser und Geschwindigkeits-Zeit-Integral bei Patienten mit hohem Risiko einer koronaren Herzerkrankung.

Methoden:

Randomisierte, Untersucher-blinde Crossoverstudie. Untersucht wurden 60 Personen zwischen 30 und 75 Jahren, 50 davon mit bestehender Herzgefäßerkrankung (1-3 Gefäße), 10 mit einem hohen Framingham-Score, d.h. hohem 1-Jahres-Risiko für eine Herz-Kreislauf-Erkrankung. Ausgeschlossen wurden Fluglärmgegner und Angestellte des Flughafens, Personen mit hohem nächtlichen Verkehrslärm am Wohnort, Personen mit schwerer Herzschwäche (NYHA III-IV), Aortenstenose und schlecht eingestelltem Bluthochdruck (>160/100 mmHg), Schichtarbeiter und Personen mit bekannter Schlafstörung. Außer Nitraten waren alle kardiologischen Medikamente erlaubt. Calcium-Antagonisten mussten 48 h vor Durchführung abgesetzt werden. Die Teilnehmer wurden angewiesen, am Tag vor der nächtlichen Untersuchung keinen Tee, Kaffee, Schlafmedikamente oder Nikotin zu konsumieren.

Die Teilnehmer wurden in 2 Nächten in ihrem eigenen Schlafzimmer entweder mit 60 Lärmereignissen in der Nacht beschallt oder nicht (Kontrolle). Die Lärmereignisse wurden aufgezeichnet im Umfeld des Flughafens Düsseldorf. Die Teilnehmer durchliefen alle jeweils „Lärmnächte“ und „Kontrollnächte“, einige zuerst „Fluglärm“, andere zuerst die „Kontrollnacht“ (Cross-over Design). Die Personen wurden gleichzeitig polysomnographisch überwacht. Dabei erfolgte auch die kontinuierliche Blutdruckkontrolle. Am Morgen nach der Untersuchung wurde im Untersuchungsinstitut jeweils zum festgelegten Zeitpunkt der FMD in der Arteria brachialis gemessen und Blut abgenommen.

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden betrachtet: Alter, Geschlecht, BMI, Risiko für kardiovaskuläre Zwischenfälle entsprechend Framingham-Heart-Score. Die Schlafqualität der Teilnehmer wurde am Morgen nach der Untersuchung erfragt.

Erhebungszeitraum:

Es liegen keine Angaben zum Zeitpunkt der Durchführung vor.

Ergebnisse:

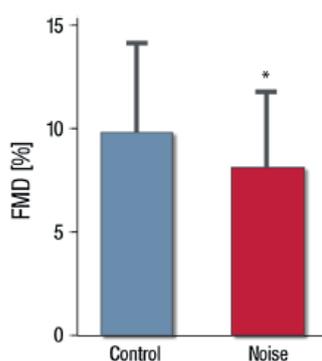
Die subjektive Schlafqualität war nach Nächten mit simulierter Fluglärmbelastung deutlich beeinträchtigt: $5,8 \pm 2,0$ vs. $3,7 \pm 2,2$ ($p < 0,001$).

Auf den Gefäßdurchmesser und das Geschwindigkeits-Zeit-Integral (VTI) zeigte sich kein Einfluss (ebenfalls Parameter, die den Blutfluss in den großen Arterien beschreiben). Der systolische Blutdruck war nach „Fluglärmnacht“ signifikant höher ($129,5 \pm 16,5$ / $133,6 \pm 17,9$ mmHg; $p = 0,03$). Andere erhobene Parameter wie z.B. die Herzfrequenz und Laborparameter wie Gerinnungsparameter PTT, Adrenalin, Cortisol, neutrophile Granulozyten, CRP, IL-6 zeigten keine statistischen Zusammenhänge zur simulierten Fluglärmbelastung in der Nacht davor.

Tab. 48 Effekte nächtlicher Fluglärmbelastung auf die Schlafqualität und Laborparameter der Teilnehmer (Schmidt et al., 2015)

	Kontrolle	Beschallung Lärmpegel 60	p-Wert
Langzeit-Geräuschpegel (dB)	39,3 ± 3,1	46,9 ± 2,0	<0,001
Schlafqualität	5,8 ± 2,0	3,7 ± 2,2	<0,001
Puls Transit Zeit (Mittel) (ms)	322,3 ± 20,7	323,3 ± 20,4	0,45
Puls Transit Zeit (minimal) (ms)	273,1 ± 21,1	273,3 ± 21,3	0,963
Puls (Mittel)	60,7 ± 7,9	61,2 ± 7,9	0,32
Puls (max.)	93,1 ± 19,1	93,1 ± 14,3	0,951
RR syst. (Mittel) (mmHg)	129,5 ± 16,5	133,6 ± 17,9	0,03
RR Anstieg	5,3 ± 7,8	6,4 ± 8,2	0,12
Puls Anstieg	8,9 ± 15,3	13,5 ± 25,5	0,059
Adrenalin (ng/l)	36,8 ± 18,0	38,1 ± 27,6	0,504
Cortisol (µg/l)	11,7 ± 3,4	11,2 ± 3,3	0,219
Neutrophile (%)	60,3 ± 7,8	60,8 ± 8,0	0,585
IL-6 (pg/ml)	4,1 ± 6,3	4,1 ± 7,6	0,697
CRP (mg/l)	2,5 ± 4,2	2,5 ± 4,2	0,959

Die sogenannte FMD (Flow-mediated Dilation), ein Marker für die Funktion des Endothels, war nach Nächten mit simulierter Fluglärmbelastung signifikant reduziert ($9,6 \pm 4,3$ / $7,9 \pm 3,7$, $p < 0,001$) (Abb. 55). Der Effekt auf FMD war unabhängig vorhanden von Schlafqualität und selbst-angegebener Lärmempfindlichkeit.

Abb. 55 Effekte der nächtlichen Lärmbelastung auf die „flow-mediated Dilation“ (FMD), y-Achse Mittelwert ± Standardabweichung ($p < 0,001$) (Schmidt et al., 2015)

Schlussfolgerung der Autoren:

Nächtlicher Fluglärm beeinträchtigt die endotheliale Funktion im Sinne einer Reduktion der „Flow-mediated Dilatation“ bei Patienten mit erhöhtem Risiko für eine kardiovaskuläre Erkrankung. Dieses könnte ein Erklärungsansatz für die Entstehung kardiovaskulärer Folgeerkrankungen bei Fluglärmbelastung sein.

Schreckenberg D, Faulbaum F, Guski R, Ninke L, Peschel C, Spilski J, Wothge J. NORAH – Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität. Endbericht Band 3. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. 2015.

Fragestellung:

In der Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ der NORAH-Studie (s. S. 60) wurden Expositions-Wirkungs-Beziehungen erhoben zwischen der Belastung im äquivalenten Dauerschalldruckpegel und der individuell empfundenen Belästigung, der Lebensqualität und von Schlafstörungen.

Methode:

Das Gesamtprojekt **NORAH** hatte als Ziel eine wissenschaftlich fundierte Beschreibung der Auswirkungen von Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsräuschen auf die Gesundheit und die Lebensqualität der betroffenen Bevölkerung zu geben.

Die übergeordneten Ziele waren erstens die Beantwortung der Frage, ob die Lärmwirkungen im Rhein-Main-Gebiet prinzipiell mit denen in anderen deutschen Regionen (Berlin, Stuttgart, München) vergleichbar sind. Zweitens stand im Mittelpunkt die Frage, ob die Änderungen des Flugbetriebs 2011 Einfluss auf Gesundheit und Lebensqualität im Umfeld des Flughafens hatten. Unterscheidet sich also die Belästigung in Ausbausituationen von derjenigen in Bestandsflughäfen?

Als Marker für die Fluglärm-belastigung wird der Anteil der hoch fluglärm-belastigten Personen (%HA-Anteil) genutzt. Als "highly annoyed", HA wird eine Person definiert, die eine der beiden obersten Stufen der Belästigungsskala (ICBEN, 5-stufig) gewählt hat.

Die Lebensqualität wurde mit dem etablierten SF8-Score für die gesundheitsbezogene psychische (MCS) und die körperliche (PCS) Lebensqualität erhoben.

Als akustische Basis für die Expositions-Wirkungs-Beziehung wurde z.B. der quellenspezifische 24h-Dauerschallpegel ($L_{pAeq,24h}$) bezogen auf die lauteste Fassade der teilnehmenden Haushalte genutzt. Tageszeitlich konnte auch analysiert werden für die Zeiträume 06-18, 18-22, 22-06, 06-22 und 22-06 Uhr. Erfasst wurde der Schalldruckpegel für die Adresse der Teilnehmenden für den Flugverkehr von 10/2010 bis 09/2013, für Straßen- und Schienenverkehr jeweils 12-Monats-gemittelt von 10/2011 bis 09/2013.

Durchführungszeitraum:

2011 – 2014

Confounder:

Als potentielle Confounder wurden Geschlecht, Alter, sozioökonomischer Status und Migrationshintergrund in die Analyse mit einbezogen. Desweiteren wurden Wohnbedingungen, Fensterart und Schallschutzmaßnahmen, genauso wie Gesundheits-bezogene Risikofaktoren (Rauchen, Aktivität, Alkoholkonsum, BMI), Lärmempfindlichkeit und Lärmbewältigungsmaßnahmen als sogenannte Co-Determinanten in die Analyse mit einbezogen.

Ergebnisse:

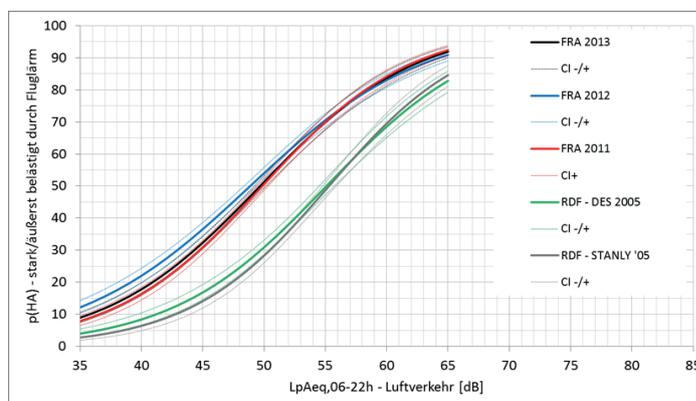
Für die Analyse zur Kombination Flug- und Straßenverkehrslärm waren 4.905 Fälle verfügbar, davon 48% mit dominierendem $L_{pAeq,24h}$ für Straßenverkehrsräusche, 28% mit dominierendem $L_{pAeq,24h}$ für Luftverkehrsräusche und 24% mit einer Differenz $\leq 2,5$ dB.

Für die Analyse zur Kombination von Flug- und Schienenverkehrslärm lagen 4.777 Fälle zur Auswertung vor. 42% davon mit dominierenden Schienenverkehrspegeln, 32% mit dominierendem Luftverkehr und 26% mit einer Differenz $\leq 2,5$ dB.

Es wurden sogenannte Expositions-Wirkungskurven der Jahre 2011, 2012 und 2013 (vor und im ersten bzw. zweiten Jahr nach Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn) erstellt. Zum Vergleich wurde ebenfalls eine Kurve einer Untersuchung (RDF Belästigungsstudie) aus dem Jahr 2005 neu berechnet. Es zeigt sich eine höhere Fluglärmbelastigung bei gleichem Mittelungspegel im Jahr 2012 (nach der Inbetriebnahme) gegenüber 2011 insbesondere in den unteren und mittleren Lärmbereichen.

Desweiteren zeigte sich ein deutlicher Unterschied dieser drei Kurven zu den Ergebnissen von 2005. Ein ähnlicher Trend wurde auch von anderen Autoren bereits berichtet (Gjestland, 2015; Janssen, 2009).

Abb. 56 Modellbasierter Anteil hoch fluglärmbelästigter Personen (%HA) im Vergleich, Daten der NORAH Studie 2011-2013 vs. RDF Belästigungsstudie 2005 (Schreckenberg et al., 2010) (Schreckenberg et al., 2015)



Im Vergleich der hoch durch Luftverkehrsgeräusche belästigten Personen zu durch Straßen- und Schienenverkehrs-Geräusche Belästigten wird ein Unterschied deutlich: Bei gleichen 24h-Mittelungspegeln waren deutlich mehr Personen durch Luftverkehrs- als durch Straßen- oder Schienenverkehrsgeräusche belästigt (Abb. 57).

In der Querschnittsuntersuchung zur Gesamtgeräusch-Belastung durch zwei kombinierte Geräuschquellen (Luft-, Straßen-, Schienenverkehr) zeigte sich, dass die Gesamtlärmbelastigung bei vergleichbaren Dauerschallpegeln in beiden Kombinationen zwar mit dem Geräuschpegel signifikant ansteigt. Die Gesamtbelastigungswerte liegen jedoch unterhalb der Belästigungswerte durch Luftverkehr allein. Das macht deutlich, dass die Gesamtbelastigung stark durch die Fluglärmbelastigung beeinflusst wird (Abb. 58).

Abb. 57 Modellbasierter Anteil hoch durch Verkehrsgläusche (Luft, StraÙe, Schiene) belästigte Personen (%HA, highly annoyed) im Rhein/Main-Gebiet (Schreckenberg et al., 2015)

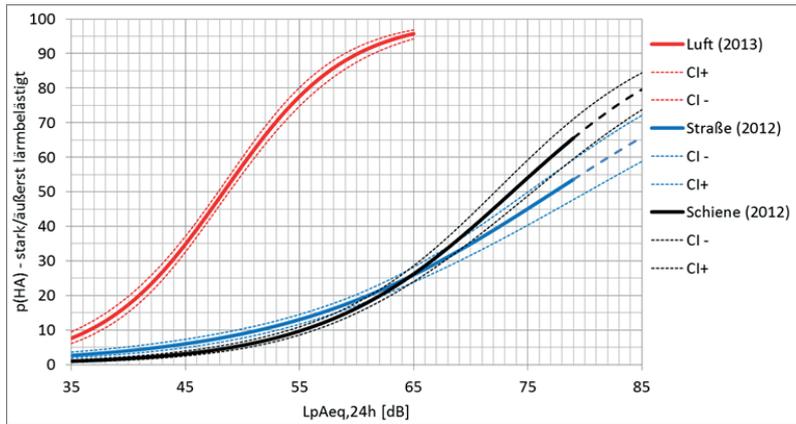
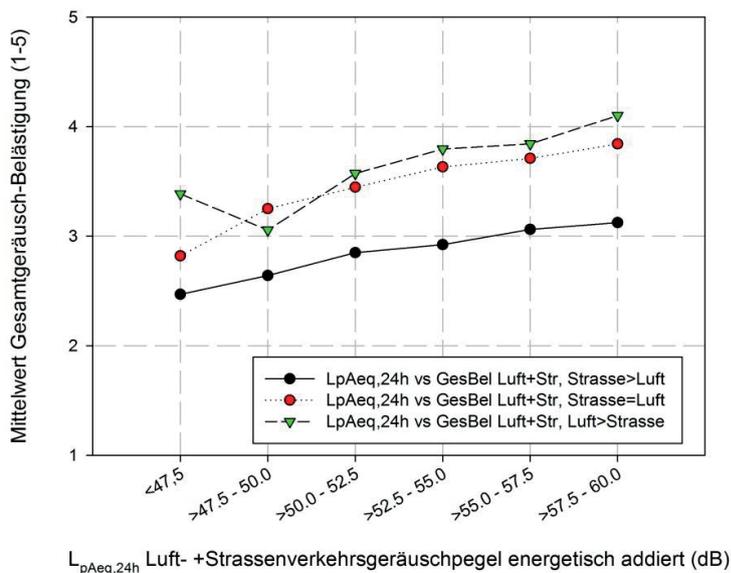


Abb. 58 Belästigung durch Luft- und StraÙenverkehr in Abhängigkeit von der Quellendominanz (Schreckenberg D., Faulbaum F., Guski R., Ninke L., Peschel C., Spilski J., Wothge J. 2015)

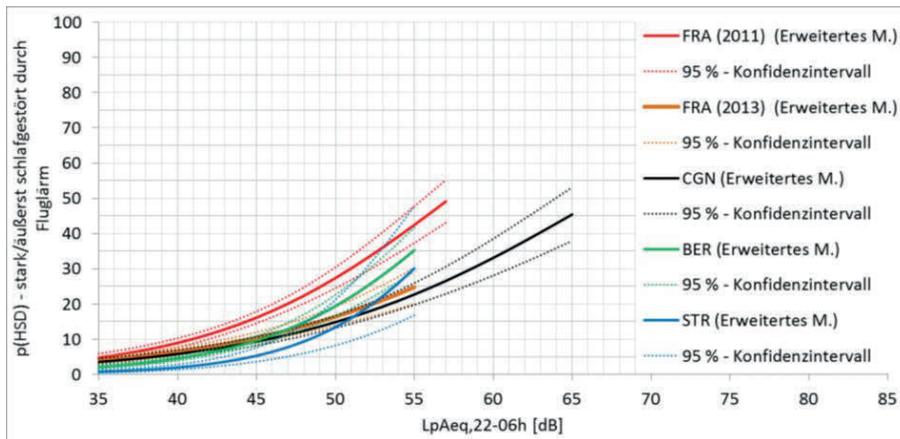


Querschnittuntersuchung – Frankfurt und andere Flughäfen

Nicht nur im Umfeld des Frankfurter Flughafens, sondern auch im Umfeld der Flughäfen Berlin, Köln-Bonn und Stuttgart wurden Untersuchungen zur Belästigung und zur Schlafqualität der Bewohner vorgenommen. Die Daten zur Belästigung wurden bereits im Übersichtskapitel vorgestellt.

Im Umfeld des Frankfurter Flughafens berichtete im Jahr 2011 ein höherer Anteil Personen über Schlafstörungen durch Luftverkehrsgeräusche als im Umfeld der übrigen Flughäfen (Abb. 59). Nach Einführung des Nachtflugverbots bzw. der sog. Kernruhezeit am Frankfurter Flughafen nahmen die Durchschlafstörungen ab. Die Störungen der Einschlafphase blieben unverändert. Störungen beim Ausschlafen nahmen eher zu (wahrscheinlich bedingt durch intensiven Flugverkehr in den Nachtrandstunden, 22-23 Uhr und 5-6 Uhr).

Abb. 59 Anteil hoch durch Luftverkehrsgeräusche schlaf-gestörter Personen Ffm. Und Vergleichsstädte (Berlin, Köln/Bonn, Stuttgart) 2011, 2013 (Guski et al., 2015)



Die selbst angegebene psychische und körperliche Lebensqualität wies im Umfeld aller untersuchten Flughäfen eine leichte Minderung bei hohen Fluglärmbelastungen. Die Lebensqualität war enger assoziiert mit der angegebenen Belästigung als mit der Belastung. Insbesondere bei stark und extrem Belästigten zeigte sich eine geringe, aber signifikante Beeinträchtigung.

Abb. 60 Lebensqualität bei den "überhaupt nicht" bis "äußerst" Belästigten in den Jahren 2011 bis 2013 (Schreckenberg et al., 2015)

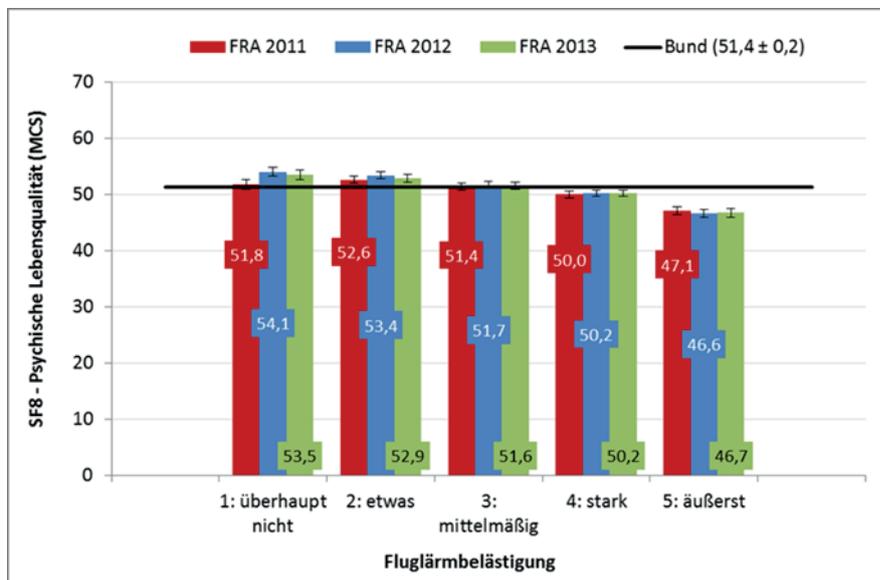


Abb. 61 Psychische Lebensqualität gruppiert nach Fluglärmbelastung in der Rhein-Main Region (a) und an den Vergleichsflughäfen (b) (Schreckenberg D., Faulbaum F., Guski R., Ninke L., Peschel C., Spilski J., Wothge J. 2015)

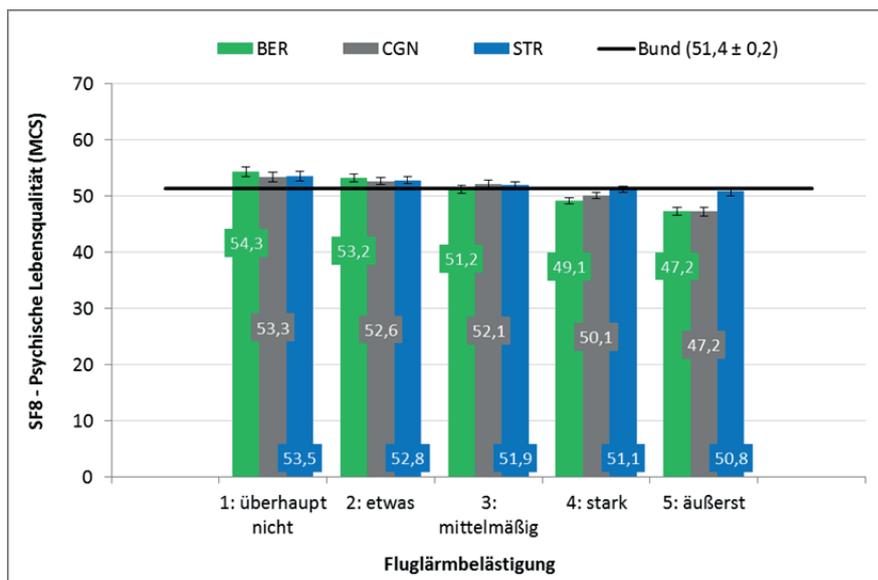
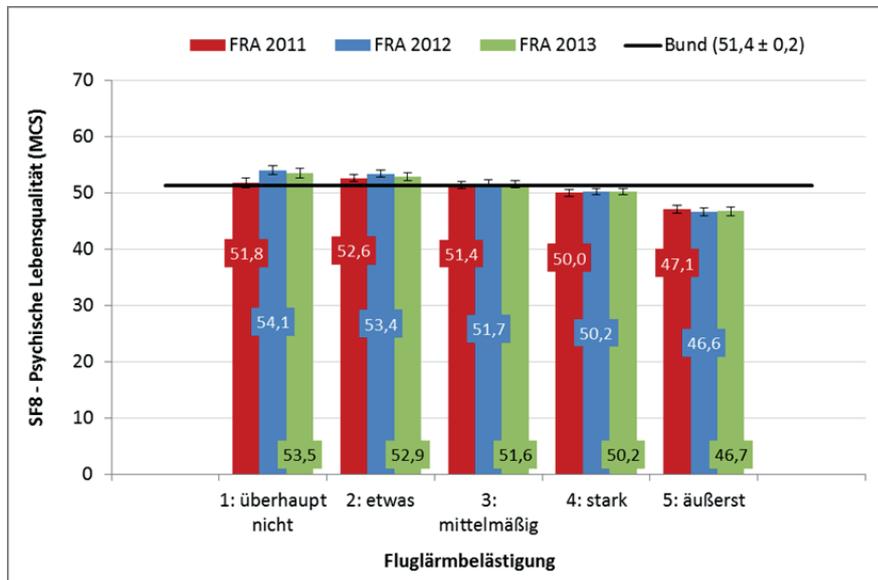
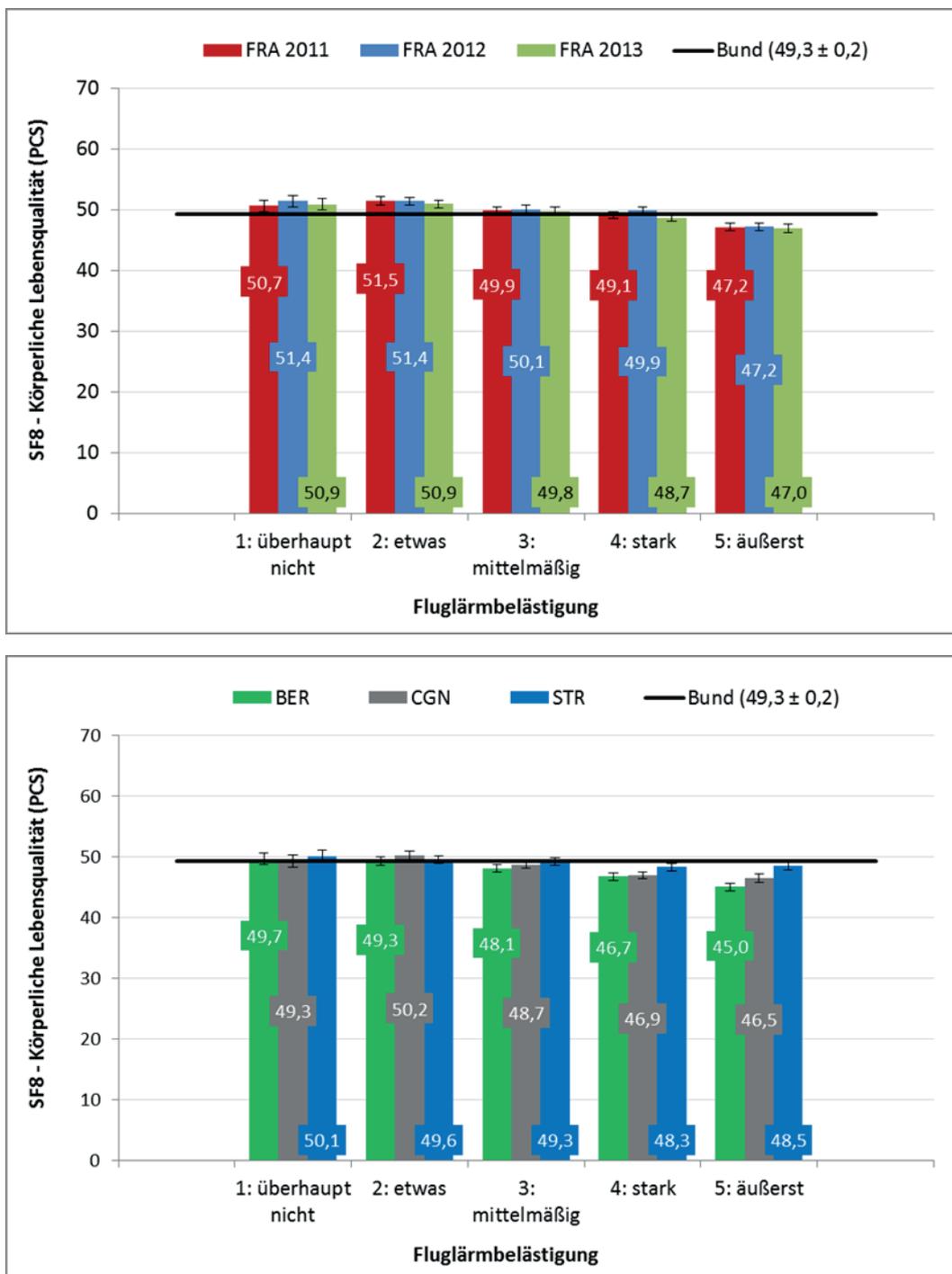


Abb. 62 Körperliche Lebensqualität gruppiert nach Fluglärmbelastung in der Rhein-Main Region (a) und an den Vergleichsflughäfen (b)



Schlussfolgerungen der Autoren:

Die Studie bestätigt die über die letzten Jahre zunehmende Belästigung durch Flugverkehrslärm bei gleichen Schalldruckpegeln, in Frankfurt und auch den anderen untersuchten Flughäfen. Dies ist in Übereinstimmung mit der Literatur.

Ebenso wurde bestätigt, dass Fluglärm bei gleichem Schalldruckpegel deutlich belästigender wirkt als Straßen- und Schienenverkehrslärm, die in ihrer Belästigungswirkung vergleichbar waren. D.h. der frühere „Schienen-Bonus“, d.h. geringeres Belästigungserleben bei Schienenverkehrslärm ist nicht mehr vorhanden.

Auch der CHANGE-Effekt wurde bestätigt, d.h. stärkere Belästigung im Umfeld von Flughäfen, bei denen sich die Flugbewegungen ändern (hier Ausbau des Flughafens Frankfurt mit Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest). Diskutiert wird eine Kombination aus Änderungserwartungen und erlebten Belastungs-Änderungen. Beide Aspekte gehören zum sogenannten CHANGE Effekt: es entsteht eine „Überschussreaktion“ in der Änderung der Lärmbelästigung nicht allein durch die Geräuschexposition selbst, sondern bereits im Vorfeld durch Änderungen der Erwartungshaltung (sobald Maßnahmen angekündigt werden, die Auswirkungen auf die Geräuschbelastung haben).

Die angegebene Belästigung folgt bei verschiedenen Lärmarten kombiniert der bedeutendsten Quelle (Dominant-Source).

Die psychische und körperliche gesundheitsbezogene Lebensqualität wird eher durch den Grad der Belästigung durch Fluglärm beeinflusst und war nur gering mit der Fluglärmbelastung assoziiert.

Schreckenber g D, Griefahn B, Meis M. The Associations between noise sensitivity, reported physical and mental health, perceived environmental quality, and noise annoyance. *Noise and Health* (2010) 12 (46) 7-16

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Lärmempfindlichkeit und Belästigung durch Straßen- oder Flugverkehr, Wahrnehmung des eigenen Gesundheitszustandes (mental und körperlich) sowie der Umweltqualität.

Methoden:

In einer Subgruppe der sogenannten RDF Studie im Umfeld des Flughafens Frankfurt (Teilnehmer insgesamt 2.310) wurden 190 Personen zwischen 17 und 80 Jahren zusätzlich per Lärmsensitivitäts-Fragebogen befragt. Inhalte der RDF Studie sind in der Literaturübersicht „Fluglärm und Gesundheit“ dargestellt (Heudorf 2008; Schreckenber g et al., 2010). Ziel war, einen möglichen Zusammenhang zwischen der Lärmsensitivität und einer generellen Sensibilität für Umwelteinflüsse sowie Einflüsse auf den Gesundheitszustand herzustellen. Der Fragebogen bestand aus 35 Fragen mit je vier Antwortmöglichkeiten. Es wurden Fragen zur Lärmsensitivität in bestimmten Situationen gestellt.

Confounder:

Es erfolgte in der RDF Studie die Erhebung sozio-demographischer Faktoren wie Alter, Geschlecht, Schulbildung, Beruf und Einkommen.

Durchführungszeitraum:

04/2005 – 12/2005

Ergebnisse:

Die Lärmsensitivität beeinflusste die allgemeine Belästigung und die Belästigung durch Fluglärm signifikant. Die Lärmsensitivität war desweiteren assoziiert mit der Angabe von somatischen Beschwerden, nicht mit mentalen Gesundheitsbeeinträchtigungen. Lärm-sensitive Personen berichteten häufiger über eine schlechte Umweltqualität in ihrem Wohngebiet in Bezug auf Flugverkehr und Ruhe. Andere Aspekte der Umweltwahrnehmung waren nicht mit der Lärmsensitivität verbunden.

Tab. 49 Korrelation zwischen Lärmsensitivität, Belästigung und Lärmbelastung (Schreckenber g et al. 2010)

	Lärm-sensitivität	Belästigung total	Belästigung Flug	Belästigung Straße
Lärmbelastung tags				
L _{Aeq, 16h} Flug	0,013	0,371**	0,431**	0,091
L _{Aeq, 16h} Straße	-0,136	-0,023	-0,107	0,205**
Belästigung				
Total	0,265**		0,659**	0,307**
Flug	0,279**	0,659**		0,201**
Straße	0,065	0,307**	0,201**	

** p <0,01

Schlussfolgerung der Autoren:

Die hier vorliegende Studie gibt Hinweise, dass die Lärmsensitivität assoziiert ist mit der selbst-angegebenen körperlichen Gesundheit, nicht mit der mentalen Gesundheit. Die Lärmsensitivität erhöht die Vorhersagbarkeit der selbst-angegebenen Umweltqualität in Bezug auf Flugverkehr und Ruhe. Andere Aspekte der Umweltqualität werden kaum beeinflusst. Daher gibt es keine Hinweise dafür, dass die Lärmsensitivität die Wahrnehmung der Umweltqualität im Allgemeinen verändert. Lärmsensitivität fungiert eher als Vorhersagewert für die Reaktionen auf Lärm. Er verändert nicht die Wahrnehmung der Umwelt im Allgemeinen.

Schreckenber g D, Meis M, Kahl C, Peschel C, Eikmann T. Aircraft Noise and Quality of Life around Frankfurt Airport. *International Journal of Environmental Research and Public Health* (2010) 7: 3382-3405

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Lärmbelastung durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehr und der individuell empfundenen Lärmbelästigung wie auch der Lebensqualität (Fragebogen HQoL). Ziel war unter anderem das Aufstellen einer Expositions-Wirkungsbeziehung der Parameter Lärmbelastung und Belästigung durch Lärm bzw. Lebensqualität.

Methode:

2.312 Personen, die in einem definierten Zeitraum (Erhebung 2005) in räumlicher Nähe (Umkreis von 40 km) zum Verkehrsflughafen Frankfurt wohnten, wurden zu ihrer individuellen Belästigung durch verschiedene Lärmquellen (Flug, Straße, Schiene) und nach Faktoren der Lebensqualität befragt.

Für jeden Teilnehmer wurde die tatsächliche Lärmbelastung mit dem äquivalenten Dauerschalldruckpegel $L_{Aeq, 24h}$ am Wohnort berechnet. Unterteilt werden konnte desweiteren in den Zeitbereich Tag 6-22 Uhr und Nacht 22-6 Uhr.

Die Belästigung durch Lärm wurde mit der 11-stufigen ICBEN-Skala erhoben. Fragen zur Gesundheit wurden mit dem standardisierten Health related Quality of Life HQoL-Fragebogen erhoben, der den SF36 Fragebogen zur Vitalität und geistigen Gesundheit und den SF12-Fragebogen zur geistigen und körperlichen Gesundheit sowie den GSCL 24-Fragebogen zu Gesundheitsbeschwerden (Erschöpfung, Magen-, Knochen- und Gelenk-, sowie Herzbeschwerden) einschließt. Die Schlafqualität wurde mit dem PSQI-Fragebogen erhoben und es wurde nach einzelnen Erkrankungen gefragt.

Darüber hinaus wurde auch erfragt, inwieweit Fluglärm die Kommunikation und Erholung (im Haus und draußen), die Konzentration im Haus und den Schlaf stört. Die dem Flugverkehr entgegengebrachte Haltung wie Furcht, Vertrauen in die Verantwortlichen, negative oder positive Erwartungen und die Zufriedenheit im Wohnumfeld wurde erhoben.

Es wurden Zusammenhänge berechnet zwischen der Lärmbelastung, der Belästigung durch Lärm (ICBEN-Skala) und der angegebenen Geräuschsensitivität zu den erfragten Gesundheitsvariablen wie der Vitalität, der psychischen Gesundheit, der körperlichen Gesundheit und einzelnen Beschwerdebildern.

Erhebungszeitraum:

Nachdem 1998 die Bekanntgabe einer Erweiterung des Flughafens Frankfurt erfolgte (Bau der Landebahn Nord-West), wurde zunächst 2003 eine sogenannte Durchführbarkeitsstudie angestrengt. Die Hauptstudienenerhebung erfolgte 2004 bis 2006. Die Erhebung der Exposition der Teilnehmer an deren Wohnadresse erfolgte 2005 während der sechs verkehrs-reichsten Monate.

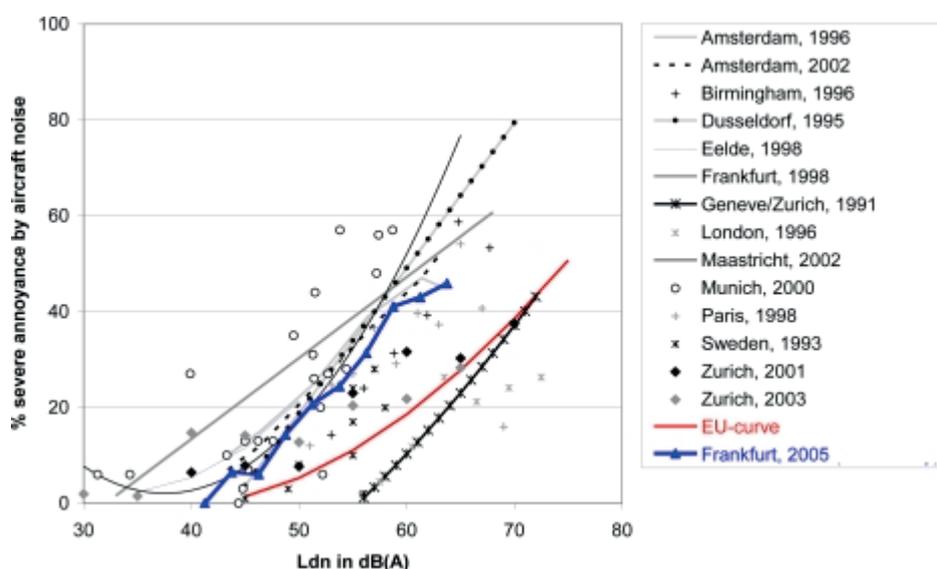
Confounder:

Als mögliche Confounder wurden berücksichtigt: Alter, Geschlecht, sozio-ökonomischer Status und Wohnsituation (Miete, Eigentum).

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchung legen eine stärkere Belästigung durch Lärm bei gleichem Mittelungspegel als z.B. in der EU-Standard-Kurve von 2001 (von Miedema et al. 2001) nahe. Verglichen mit anderen aktuellen Studien ist jedoch die individuell empfundene Belästigung der in Frankfurt durchgeführten Erhebung von ähnlicher Ausprägung (Siehe Abbildung 63).

Abb. 63 Zusammenhang zwischen Lärmbelastigung (in %HA) und gemessenem Schalldruckpegel in mehreren Studien (Schreckenberg et al., 2010)



Tab. 50 Zusammenhang (OR) zwischen Fluglärm, Belästigung und Geräuschsensitivität zu mehreren Gesundheitsvariablen für Schlafqualität LAeq 22-6 Uhr, alle anderen Variablen LAeq 6-22 Uhr (Schreckenberg et al., 2010)

Gesundheitsvariablen	Fluglärm (LAeq)	Belästigung	Lärmsensitivität
Gesundheits-bezogene Lebensqualität (SF36/12 Scores, Median)			
Vitalität (SF36)	0,95*	1,25*	1,13*
Mentale Gesundheit (SF36)	0,96*	1,13*	1,40*
Mentale Gesundheit (SF12)	0,96*	1,06	1,22*
Körperliche Gesundheit (SF12)	0,97*	1,13*	1,19*
GSCL-24 Gesundheitsbeschwerden			
Erschöpfung	0,98*	1,36*	1,4*
Magenbeschwerden	0,99	1,12*	1,18*
Gelenkbeschwerden	0,96*	1,22*	1,48*
Kardiale Beschwerden	0,96*	1,32*	1,35*
Gesamtwert	0,96*	1,41*	1,53*
Schlafqualität (PSQI Score >5)			
Schlechte Schlafqualität	0,95	1,45*	1,42*

***OR signifikant $p < 0,05$**

Es zeigte sich bei Betrachtung des erhobenen Gesundheitszustandes der Teilnehmer, der Lärmbelastung, der Belästigung durch Lärm und der Geräuschempfindlichkeit ein signifikanter Zusam-

menhang zwischen fast allen Parametern. Dabei war der Fluglärm selbst gering und negativ korreliert. Demgegenüber waren die Assoziationen zwischen erfragten Gesundheitsparametern und der Belästigung deutlich stärker und positiv (d.h. bei stärkerer Belästigung mehr und stärkere Gesundheitsbeschwerden). Die stärksten Zusammenhänge wurden aber zwischen der Lärmsensitivität und den Gesundheitsparametern gefunden.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die signifikanten Zusammenhänge zwischen den meisten der beschriebenen Parameter legen den Schluss nahe, dass die Wirkung durch Fluglärm nicht eine einfache Expositions-Wirkungsbeziehung ist, sondern mehrere Faktoren wie die Möglichkeit der Stressbewältigung, der Belästigung, der Geräuschempfindlichkeit, aber auch mögliche Grunderkrankungen mit einbezieht. Zur weiteren Analyse sind Längsschnittuntersuchungen notwendig, insbesondere zum Eruiere n eines möglichen kausalen Zusammenhangs.

Schreckenberg D, Wothge J, Möhler U, Guski R. Belästigungswirkung der Kombination von Fluglärm mit Straßen- oder Schienenverkehrslärm – Eine Untersuchung im Rahmen des NORAH-Forschungsverbundprojektes. DAGA (2016).

Fragestellung:

In dieser Veröffentlichung wurde das Modul 1 der NORAH Studie „Belästigung und Lebensqualität“, insbesondere die Belästigungswirkung der Kombination von Fluglärm mit Straßen-, bzw. Schienenverkehrslärm diskutiert (s. auch S. 60).

Methode:

Siehe Endbericht NORAH, Band 3 (Schreckenberg D., Faulbaum F., Guski R., Ninke L., Peschel C., Spilski J., Wothge J. 2015).

Ergebnisse:

Bei gleichen 24-h-Mittelungspegeln sind deutlich mehr Menschen durch Luftverkehrs- als durch Straßen- oder Schienenverkehrslärm hoch belästigt (%HA). Die Quellenart-Unterschiede gelten in vergleichbarer Größenordnung unabhängig davon, ob die Fluglärmbelästigung vor oder nach Inbetriebnahme der Nord-West Landebahn am Flughafen Frankfurt erhoben wurde. Insgesamt zeigt sich, dass über nahezu den gesamten untersuchten Geräuschpegelbereich die Gesamtlärmbelästigung im Wesentlichen durch die Mittelungspegel des Fluglärms bestimmt wird. Die zweite Verkehrslärmquellenart hat auch dann kaum einen Einfluss, wenn sie einen starken Anteil am Gesamt-Mittelungspegel hat.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Gesamtlärmbelästigung wird dominierend bestimmt durch die „lästigste“ Quellenart (hier Fluglärm). Als Erklärung kann das sogenannte „dominant-source-modell“ dienen. Dieses besagt, dass das Gesamtbelästigungsurteil dem Maximum der quellen-spezifischen Lärmelästigungsurteile entspricht. Danach richtet sich die Gesamtbelästigung nach der lästigsten Quellenart.

Abb. 64 Gesamtlärmbelastung durch Luft- kombiniert mit Straßenverkehrsgeräuschen (links) und Schienenverkehrsgeräuschen (rechts) in Abhängigkeit von der akustischen Quelldominanz (Schreckenberg et al., 2015)

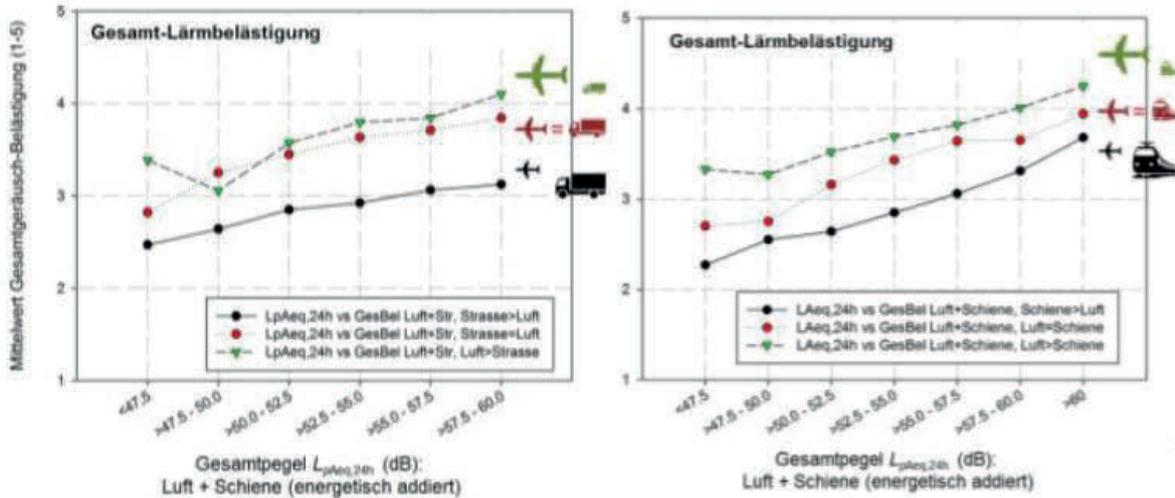
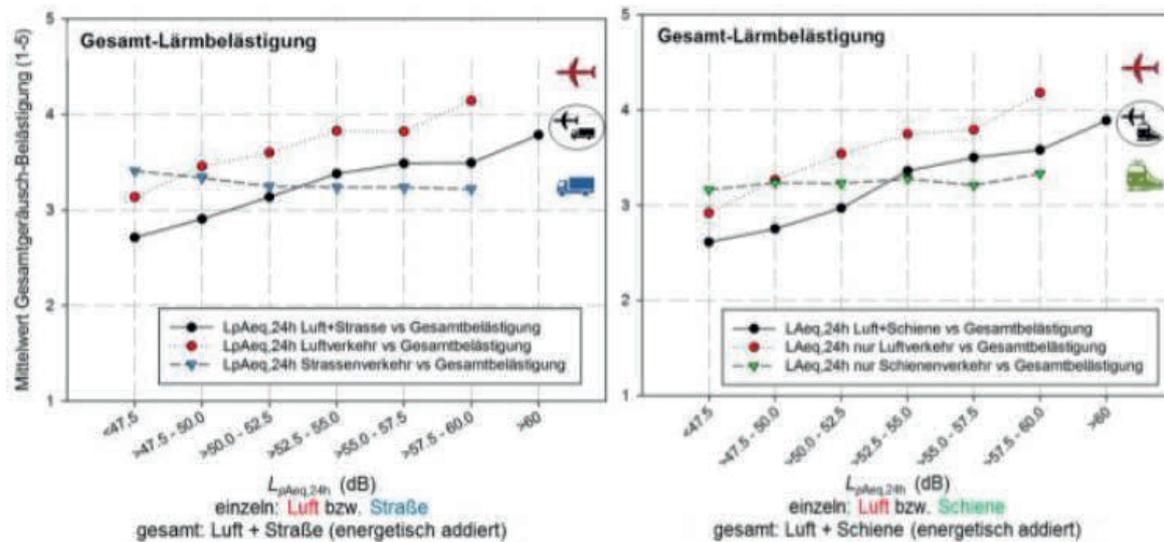


Abb. 65 Gesamtbelastung durch zwei Quellenarten in Abhängigkeit von den quellenart-spezifischen und dem über zwei Quellenarten (links: Luft und Straße; rechts: Luft und Schiene) energetisch addierten Mittelungspegel



Seabi J. An Epidemiological Prospective Study of Children's Health and Annoyance Reactions to Aircraft Noise Exposure in South Africa. Int J Environ Res Public Health (2013) 10(7): 2760-77

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Beeinträchtigung der Lebensqualität bzw. individuell empfundene Lärmbelastung im Langzeitverlauf. Beeinflusst die Exposition durch Fluglärm Kinder langfristig?

Methoden:

Untersucht wurden insgesamt 732 Kinder im Alter von 8-14 Jahren, die eine von fünf Schulen im Umfeld des Durban International Airports (Südafrika) besuchten. Die erste Analyse der Kinder mit Erhebung der Lebensqualität, gesundheitsbezogener Daten und selbstgetroffener Einschätzung der Belästigung durch Fluglärm wurde 2009 durchgeführt. Zwei der teilnehmenden Schulen wurden nach Bestimmung der äquivalenten Schalldruckpegel am Schulort den hoch-belasteten (HN, high noise) Schulen zugeordnet. Die niedrig belasteten Schulen (LN, low noise) wurden ausgesucht entsprechend den soziodemographischen Charakteristika der HN Schulen, um mögliche Confounder auszuschließen.

Der Flughafen Durban wurde ausgesucht, da nach der ersten Erhebung ein Umzug zu einem anderen Standort 35 km weiter nördlich durchgeführt wurde. In einer zweiten Erhebung nach einem Jahr konnten noch 649 der Kinder befragt werden und nach 2 Jahren (2011) noch 174 Kinder (dann zwischen 10-16 Jahren).

Der Parameter „individuelle Belästigung“ wurde abgefragt mit 7 Fragen und jeweils 4 Antwortmöglichkeiten (niemals, manchmal, oft, immer). Daraus wurde ein Punktwert errechnet. Je höher der Punktwert desto stärker die Belästigung. Weitere Angaben zur Errechnung des Punktwertes werden hier nicht gemacht.

In Bezug auf den generellen Gesundheitszustand wurden die Kinder in einer 5-stufigen Frage zu ihrer allgemeinen Gesundheit befragt (sehr gut bis sehr schlecht). Desweiteren wurde ebenfalls in einem 5-stufigen Antwortverfahren abgefragt, ob sie im vergangenen Monat an Übelkeit, Kopfschmerzen, Bauchschmerzen und Schlafstörungen litten.

Durchführungszeitraum:

2009-2011. Die Geräuschmessungen wurden zum Zeitpunkt der Fragebogenerhebung außerhalb des Klassenraums durchgeführt (08:00-10:00 Uhr).

Confounder:

Der mögliche Confounder „Sozialstatus“ wurde abgeschätzt durch die Erfassung der Schüler, die einen Anspruch auf eine freie Mittagsmahlzeit haben. In Fragebögen wurden Eltern und Kinder in Bezug auf die individuell empfundene Belästigung und den Gesundheitsstatus befragt.

Ergebnisse:

Der äquivalente Schalldruckpegel (Baseline) in den HN-Schulen lag zwischen 63,5 und 69,9 dB in der ersten Testphase (Wave 1). Die maximalen Schalldruckpegel L_{max} lagen zwischen 89,3 und 96,5 dB. In den Testphasen 2 und 3 (nach Umzug des Flughafens) lag der Schalldruckpegel bei 55,2 dB und der maximale Schalldruckpegel zwischen 60,8 und 71,2 dB.

In den niedrig belasteten Schulen lag der Dauer-Schalldruckpegel in Phase 1 bei 54,4 bis 55,3 dB und für den maximalen Geräuschpegel bei 73,2-74,3 dB und in Testphase 2 und 3 bei 50,5 bis 57,9 bzw. 60,6 bis 70,5 dB für den maximalen Geräuschpegel.

Es fehlen Angaben dazu, warum für Testphase 2 und 3 tatsächlich nur eine gemeinsame Messung vorliegt. Desweiteren bleibt unklar, warum für den mittleren Schalldruckpegel L_{eq} in Phase 1 und bei Phase 2/3 bei den Low-Noise-Schulen ein Bereich angegeben wurde und bei Phase 2/3 in den High-Noise-Schulen nur ein Wert für den mittleren Schalldruckpegel.

Tab. 51 Übersicht über mittlere und maximale Schalldruckpegel in Phase 1 und 2/3 (Seabi J. 2013)

	Testphase 1	Testphase 2/3
	mittlerer (maximaler) Schalldruckpegel	mittlerer (maximaler) Schalldruckpegel
High-Noise-Schulen	63,5-69,9 (89,8-96,5)	55,2 (60,8-71,2)
Low-Noise-Schulen	54,4-55,3 (73,2-74,3)	50,5-57,9 (60,6-70,5)

Der Autor berichtet, in seiner Studie bei der Befragung auf individuell empfundene Lärmbelästigung an der Schule signifikant höhere Werte bei den Kindern aus HN (High Noise) Schulen gefunden zu haben. Auf die Frage nach der Lärmbelästigung am Wohnort zeigte sich eine signifikante Erhöhung nur in der ersten und zweiten Studienphase. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass keine Messungen oder separate Berechnungen für den Wohnort der Kinder durchgeführt wurden.

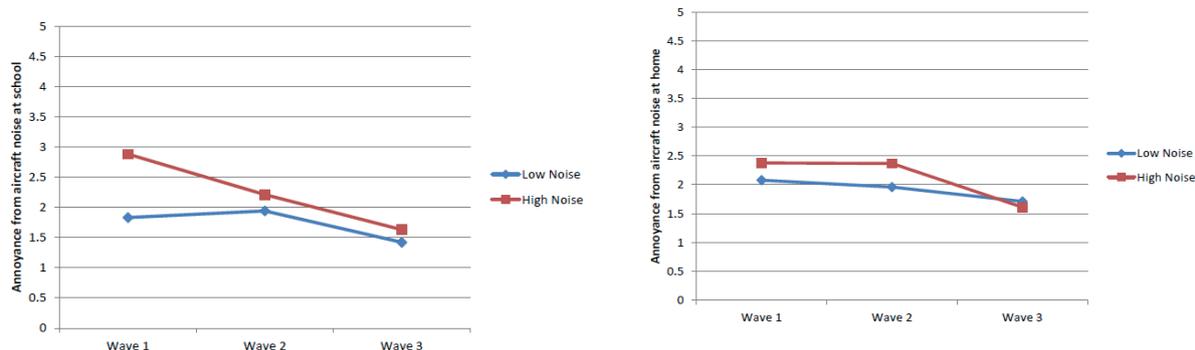
Die Kinder der hoch lärmbelasteten Schule selbst berichteten nicht über signifikant stärkere Gesundheitsbelastungen. Die Kinder in den LN (Low Noise) Schulen waren sogar zu Beginn deutlich stärker gesundheitlich belastet. In der zweiten und dritten Erhebungsphase zeigte sich kein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Gesundheitszustand.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die hier vorliegende Studie einige Begrenzungen hat, z.B. die niedrige Studienteilnahme in der dritten Befragungsphase. Desweiteren wurde zur Abschätzung des Confounders Sozialstaus nur der Parameter „kostenlose Schulspeisung“ verwendet. Auch der Altersbereich der einbezogenen Kinder (8-14 Jahre) ist sehr groß. Lärmmessungen wurden scheinbar nur zu einem Zeitpunkt, nämlich während der Fragebogenerhebung durchgeführt und zwar für 2 Stunden. Angaben, wie daraus die Dauerschalldruckpegel berechnet wurden, fehlen. Es liegt also nahe, dass Confounder die Aussagefähigkeit der Studie beeinflussen.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die hier vorliegende Studie ist eine der wenigen Längsschnittuntersuchungen, die bislang (insbesondere auf dem afrikanischen Kontinent) zu diesem Thema durchgeführt wurden. Sie legt eine stärkere und lang anhaltende Belästigung bei Kindern nahe, die stärkerem Lärm ausgesetzt waren.

Abb. 66 Individuelle Lärmbelastung in der Schule (links) und am Wohnort (rechts) in allen



drei Untersuchungsphasen (Seabi J. 2013)

Tab. 52 Belästigung durch Fluglärm in den durch Fluglärm gering und hoch belasteten Schulen (Seabi J. 2013)

	Mittel der gering belasteten Schulen	Mittel der hoch belasteten Schulen	p-Wert
Untersuchungsphase 1 (2009)			
Wahrnehmung Fluglärm, Schule	1,93	2,72	0,00
Belästigung durch Fluglärm, Schule	1,83	2,88	0,00
Wahrnehmung Fluglärm, zuhause	2,43	2,38	0,48
Belästigung durch Fluglärm zuhause	2,08	2,38	0,00
Untersuchungsphase 2 (2010, nach Flughafen Umzug)			
Wahrnehmung Fluglärm, Schule	1,93	2,2	0,00
Belästigung durch Fluglärm, Schule	1,94	2,21	0,00
Wahrnehmung Fluglärm, zuhause	2,22	2,01	0,02
Belästigung durch Fluglärm zuhause	1,96	2,37	0,00
Untersuchungsphase 3 (2011, nach Flughafen Umzug)			
Wahrnehmung Fluglärm, Schule	1,71	1,63	0,41
Belästigung durch Fluglärm, Schule	1,42	1,63	0,04
Wahrnehmung Fluglärm, zuhause	1,95	1,74	0,05
Belästigung durch Fluglärm zuhause	1,71	1,63	0,5

Seabi J, Cockcroft K, Goldschagg P, Greyling M. The impact of aircraft noise exposure on South African Children's reading comprehension: The moderating effect of home language. *Noise and Health* (2012) 14 (60): 244-252

Fragestellung:

Einfluss von Fluglärmexposition auf den Leseerwerb, Kombination aus Lärmeffekt und dem Faktor Muttersprache in Südafrika.

Methoden:

Die Studie ist eine der wenigen Lärmexpositionsstudien, die auf dem afrikanischen Kontinent durchgeführt wurden. In Anlehnung an die europäische RANCH Studie wird sie auch als RANCH-SA (Southafrica) bezeichnet. Es wurden an insgesamt fünf Schulen in der Gegend von Durban, Südafrika Testungen von Kindern zwischen 9 bis 14 Jahren durchgeführt. Sie wurden befragt nach Gedächtnisleistungen, Erinnerung, Aufmerksamkeit und Leseerwerb. Der Leseerwerb (Reading Comprehension) wurde anhand des sogenannten Suffolk Reading Scale 2 erhoben, der auch bei der RANCH Studie Anwendung fand. Der Test umfasst 86 Fragen mit je fünf Antwortmöglichkeiten. Der Test ist standardisiert für Teilnehmer zwischen 6 Jahren 4 Monaten und 13 Jahren 11 Monaten in Großbritannien.

Es wurden zwei Schulen im direkten Umfeld des Flughafens Durban (KwaZulu, vor Umzug in den King Shaka international Airport) als lärmbelastete Schulen einbezogen. Drei Schulen wurden als Kontrollschulen ausgesucht in Bezug auf durchschnittliche Werte für Muttersprache zuhause, Bildungsstand der Eltern, beruflicher Tätigkeit der Eltern. Insgesamt wurden 437 Kinder aus den fluglärmbelasteten Schulen, darunter 151 mit Englisch als Muttersprache und 162 mit Englisch als Zweitsprache, und 337 Kinder aus nicht fluglärmbelasteten Kontrollschulen (191 Kinder mit Englisch als Erst- und 156 mit Englisch als Zweitsprache) befragt.

Die Lärmmessungen fanden zum Zeitpunkt der Erhebung (08:00 bis 10:00 Uhr) auf dem Schulhof der jeweiligen Schule statt. In den lärmexponierten Schulen wurde ein Maximum von 95 dB erreicht. In den Kontrollschulen wurde ein Maximum von 74 dB erreicht. Die Lärmexposition wurde hochgerechnet auf den 16h äquivalenten Schalldruckpegel L_{Aeq} .

Confounder:

Mögliche Confounder wurden per Fragebogen an die Kinder und zusätzlichen Fragebogen an die Eltern erfasst: Geschlecht, Alter, ethnische Zugehörigkeit und Muttersprache.

Ergebnisse:

Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Teilnehmern mit Englisch als Muttersprache und den Teilnehmern mit Englisch als Zweitsprache. Die Teilnehmer, die Englisch als Muttersprache angaben, hatten signifikant bessere Testwerte für den Leseerwerb (insgesamt 36,2 vs. 28,6). Die besten Ergebnisse hatten die Kinder mit Englisch als Muttersprache, die nicht fluglärmbelastet waren (40,9). Kinder mit Englisch als Muttersprache, die fluglärmbelastet waren, hatten hingegen nur geringfügig bessere Testwerte beim Leseerwerb (30,2) als die Kinder mit Englisch als Zweitsprache ohne (27,7) bzw. mit (29,5) Fluglärmbelastung. D.h. es zeigte sich in der Gruppe der Teilnehmer mit Englisch als Muttersprache eine starke Reduktion des Leseerwerbs in der durch Fluglärm belasteten Gruppe. Dieser Effekt war in der Gruppe der Teilnehmer mit Englisch als Zweitsprache nicht signifikant nachweisbar. Das heißt, die Familiensprache der Kinder ist als starker Confounder zu werten. Bei den Kindern, die Englisch nicht als erste Sprache lernten, ließ sich kein zusätzlicher Effekt durch Fluglärm nachweisen. Allerdings waren die Kinder mit Englisch als Zweitsprache zu Hause erheb-

lichem Lärm ausgesetzt – unabhängig vom Fluglärm, eine Lärmbelastung, die nicht in die Berechnungen einging.

Tab. 53 Punktwerte für Leseserwerb in Abhängigkeit von Muttersprache und Fluglärmbelastung (Seabi et al. 2012)

	Muttersprache	Teilnehmer	Mittelwert	Standardabweichung
Lärm-belastet	Englisch	151	30,16	13,76
	Nicht Englisch	162	29,48	14,69
Kontrolle	Englisch	191	40,95	14,06
	Nicht Englisch	156	27,69	12,14

Tab. 54 Effekte der einzelnen Variablen und Interaktion auf den Leseserwerb (Seabi et al. 2012)

	Effektgröße	p-Wert
Fluglärm	11,75	0,007*
Muttersprache	19,79	<0,0001*
Fluglärm und Muttersprache	19,46	<0,0001*

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Fähigkeit, Texte zu lesen und zu verstehen, ist erforderlich für die meisten Bildungsinhalte. Kinder mit Englisch als Muttersprache wiesen unter Fluglärmbelastung ein eher schlechteres Leseverständnis auf im Vergleich zu den Kontrollen. Dieser Einfluss des Fluglärms war bei den Kindern mit Englisch als Zweitsprache nicht erkennbar. Die Muttersprache der Kinder wie auch die Belastung durch Fluglärm beeinflusste in dieser Untersuchung den Leseserwerb. Daher sollten diese Faktoren weiter untersucht werden, um eine mögliche Beeinträchtigung von Lehrinhalten erkennen zu können.

Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Hegewald J. NORAH – Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Erkrankungsrisiken. (2015) Endbericht, Band 6, Gemeinnützige Umwelthaus GmbH.

Fragestellung:

Das Gesamtprojekt NORAH hatte als Ziel, eine wissenschaftlich fundierte Beschreibung der Auswirkungen von Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen auf die Gesundheit und die Lebensqualität der betroffenen Bevölkerung zu geben (s. S. 60).

In der Teilstudie „Erkrankungsrisiken“ sollten im Rahmen einer sekundärdatenbasierten (Krankenkassendaten) Studie die Auswirkungen von Lärm (Straßen-, Schienen- Luftverkehr) auf die Gesundheit der Wohnbevölkerung erhoben werden. Analysiert wurden Herz-Kreislauf-Erkrankungen, psychische Erkrankungen und Krebserkrankungen.

Methoden

Die Risiken für die Diagnose von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, Schlaganfall), psychischen Erkrankungen (depressive Episoden) und Krebserkrankungen (Brustkrebs bei Frauen) wurden mit einer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie im Rhein-Main-Gebiet erhoben. Zur Studienregion zählten Darmstadt, Mainz und Worms und die Landkreise Mainz-Bingen und Alzey-Worms. Zur Studienpopulation gehörten alle >40-jährigen Versicherten (n=1.026.658) dreier großer gesetzlicher Krankenkassen, entsprechend 23% der >40-Jährigen in der Studienregion. Die Analyse erfolgte anhand der Versorgungsdaten (Neudiagnosen) basierend auf ambulanten und stationären Erstdiagnosen aus den Jahren 2005-2010. Für alle Versicherten erfolgte die adressgenaue Berechnung der Exposition (Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm) über die Jahre 1996-2010.

Analysiert werden jeweils die Expositions-Wirkungsbeziehungen mit einem Risiko-Schätzer. Desweiteren werden Subgruppen gebildet, z.B. der sehr hoch Belasteten (>60 dB).

Durchführungszeitraum:

Krankenkassendaten 2005-2010. Lärmmodell erhoben 1996-2010. Vertiefte Befragung 2011-2013.

Confounder:

Als potentielle Confounder wurden Geschlecht, Alter, Bildung und Beruf (aus dem Tätigkeitskennzeichen) und regionale SGBII (Sozialhilfe)-Quote erfasst. In einer vertiefenden Befragung einer Stichprobe der Fälle mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie der entsprechenden Kontrollpersonen wurden nicht oder nicht vollständig erfasste Confounder erhoben (Bildungsstand, Beruf, Einkommen, Rauchen, Größe und Gewicht, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Arbeitslärm und körperliche Aktivität). Zudem wurden Faktoren erhoben, die eine Abschätzung des Innenraumpegels ermöglichen. Die Methode der „vertiefenden Befragung“ erlaubt die genauere Betrachtung von ansonsten in großen Fall-Kontroll-Studien nur unzureichend zu erfassenden Confoundern.

Ergebnisse:

Betrachtet wurden neu diagnostizierte Erkrankungen der Berichtsjahre 2005-2010: Herzinfarkt (n=19.623), Schlaganfall (n=25.495), Herzinsuffizienz (n=104.145), depressive Episoden (n=77.295) und Brustkrebs bei Frauen (n=6.643). Bei der Stichprobe von Fällen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie bei entsprechenden Kontrollpersonen (8.540 Teilnehmer) wurde die vertiefende Befragung durchgeführt.

Herzinfarkt, Herzinsuffizienz und Schlaganfall waren enger mit der Belastung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm assoziiert als mit der Fluglärmbelastung. **Brustkrebs** zeigte zu allen Lärmarten nicht signifikante Assoziationen; in der Fallkontrollstudie fanden sich jedoch signifikante Assoziationen zwischen nächstlichem Fluglärm (0-5 Uhr) und Brustkrebs. Für die Diagnose einer **depressiven Erkrankung** (unipolare Depression) lässt sich ein Zusammenhang zwischen allen drei Verkehrslärmarten und der Diagnose einer depressiven Episode feststellen. Die Risikoabschätzung über ansteigende Pegelkategorien durch Fluglärm zeigte jedoch keine lineare, sondern eine umgekehrt „U-förmige“ Expositions-Wirkungsbeziehung“. Die höchsten Risiken werden für mittlere Kategorien beobachtet. Die Risiken sind nicht höher in der Nacht.

Tab. 55 NORAH Studie: Lineare Risikoänderung pro 10 dB L_{Aeq24h} Schallpegelzunahme für Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Brustkrebs und depressive Episode (Seidler et al. 2015)

	Fluglärm	Straßenverkehrslärm	Schienenverkehrslärm
Herzinfarkt			
Alle	-0,7% (n.s.)	+2,8% (sign.)	+2,3% (sign.)
Männer	-0,7% (n.s.)	+3,4% (sgn)	+1,4% (n.s.)
Frauen	-0,7% (n.s.)	+1,6% ((n.s.)	+2,9% (sign.)
Herzinsuffizienz			
Alle	+1,6% (sign.)	+2,4% (sign)	+3,1% (sign.)
Männer	+1,1% (n.s.)	+2,4% (sign.)	+1,0% (n.s.)
Frauen	+2,1% (sign.)	+2,2% (sign)	+ 4,7% (sign.)
Schlaganfall			
Alle	-2,4% (n.s.)	+1,7% (sign.)	+1,8% (sign.)
Männer	-0,3% (n.s.)	+1,8% (n.s.)	+1,5% (n.s.)
Frauen	-4,1% (sign.)	+1,5% (n.s.)	+1,6% (n.s.)
Brustkrebs			
Frauen	+0,3% (n.s.)	-0,9% (n.s.)	-0,9% (n.s)
Depressive Episode			
Alle	+8,9% (sign*.)	+4,1% (sign)	+3,9% (sign*.)
Männer	+8,6% (n.s.)	+4,0% (sign.)	+4,0% (sign)
Frauen	+9,2% (sign.)	+4,0% (sign)	+ 3,9% (sign.)

Abb. 67 Risikoänderung für Herzinfarkt durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schienenlärm (re) (Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. 2015)

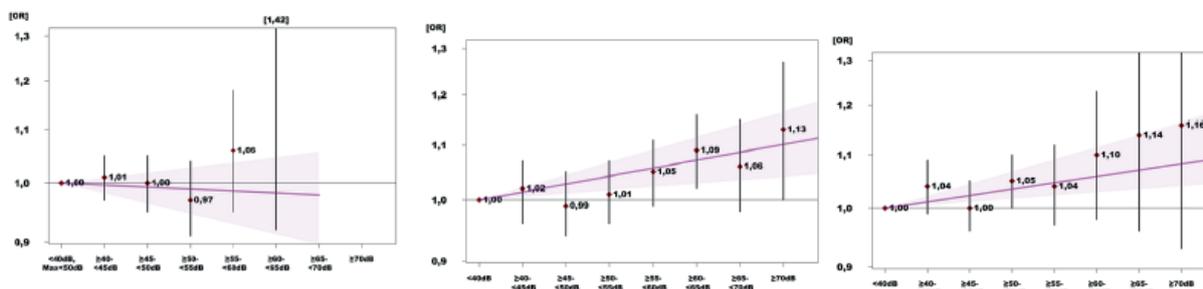


Abb. 68 Risikoänderung für Schlaganfall durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schienenlärm (re) (Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. 2015)

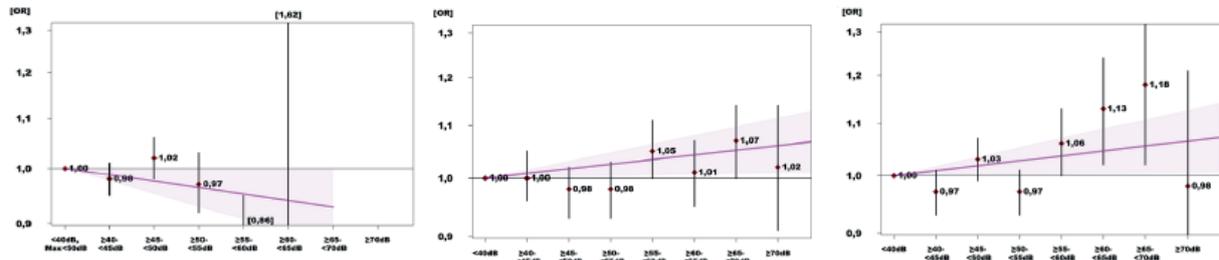


Abb. 69 Risikoänderung für Herzinsuffizienz durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schienenlärm (re) (Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. 2015)

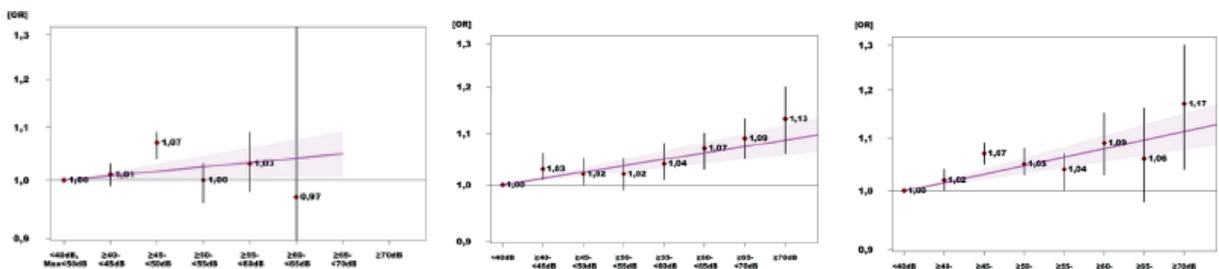
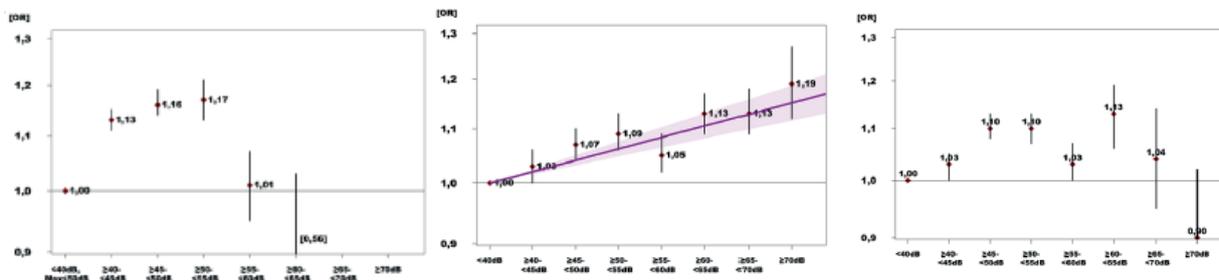


Abb. 70 Risikoänderung für Depressive Episoden durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schienenlärm (re)



Schlussfolgerung der Autoren:

Die in dieser Untersuchung belegten Herz-Kreislauf-Erkrankungs-Risiken (bezogen auf Verkehrslärm durch Straßen-, Schienen- und Flugverkehr) liegen deutlich niedriger als die Risiken durch die bekannten sogenannten „Lifestyle“ Faktoren (Rauchen, Alkohol, Bewegungsmangel, Übergewicht). Aufgrund der bevölkerungs-bezogenen Häufigkeit der Exposition kommt jedoch auch diesen Risikoerhöhungen eine bevölkerungsbezogene Bedeutung zu.

Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Pons-Kühnemann J, Swart E, Zeeb H, Hegewald J. Herzinfarkttrisiko durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm – Ergebnisse einer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie. Deutsches Ärzteblatt Int. 2016; 113: 407-14

Fragestellung:

Diese Veröffentlichung berichtet Ergebnisse zur Expositions-Risiko-Beziehung zwischen Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm und Herzinfarkt aus dem Modul 2 (Gesundheit), Teilstudie 1 (Sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie mit vertiefender Befragung) der NORAH Studie (s. S. 60).

Methode:

Im Rhein-Main-Gebiet wurden anhand von Abrechnungs- und Verwaltungsdaten dreier gesetzlicher Krankenkassen 19.632 Patienten mit der Diagnose Herzinfarkt zwischen 2006 und 2010 mit 834.734 Kontrollpersonen verglichen. Für alle Versicherten wurde adressgenau die Exposition gegenüber Straßen-, Schienenverkehrs- und Fluglärm aus den Jahren 1996-2010 berechnet. Als Risikoschätzer wurden mittels logistischer Regressionsanalyse Odds Ratios berechnet, adjustiert für Alter, Geschlecht, regionale Sozialstatusvariable (soweit verfügbar). Die Auswertungen erfolgten mit kontinuierlichen 24-Stunden-Dauerschallpegeln und mit kategorisierten Schallpegeln (5 db Klassen).

Durchführungszeitraum:

Krankenkassendaten 2005-2010. Lärmmodell 1996-2010. Vertiefende Befragung 2011-2013.

Confounder:

Als potentielle Confounder wurden Geschlecht, Alter, Bildung und Beruf (aus dem Tätigkeitskennzeichen) und regionale SGB II (Sozialhilfe)-Quote erfasst. In einer vertiefenden Befragung einer Stichprobe der Fälle mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie der entsprechenden Kontrollpersonen wurden nicht oder nicht vollständig erfasste Confounder erhoben (Bildungsstand, Beruf, Einkommen, Rauchen, Größe und Gewicht, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Lärm am Arbeitsplatz und körperliche Aktivität). Zudem wurden Faktoren erhoben, die eine Abschätzung des Innenraumpegels ermöglichen.

Ergebnisse:

Im linearen Modell findet man einen statistisch signifikanten Risikoanstieg bei Straßen- (2,8% pro 10 dB Pegelanstieg) und Schienenverkehrslärm (2,3% Anstieg pro 10 dB Pegelanstieg), nicht jedoch bei Fluglärm. Fluglärmpegel ab 60 dB sind mit einem erhöhten Herzinfarkttrisiko verbunden. Bei Einschränkung auf die bis 2014/2015 verstorbenen Herzinfarktpatienten erreicht das Risiko statistische Signifikanz und zwar bei allen drei Verkehrslärmarten mit 3,2% bis 3,9% pro 10 dB Pegelanstieg.

Schlussfolgerung der Autoren:

Für alle drei Verkehrslärmarten finden sich Zusammenhänge zur Diagnose Herzinfarkt. Der Zusammenhang ist deutlich stärker ausgeprägt für den Straßen- und Schienenverkehr. Möglicherweise ist der Dauerschallpegel schlechter geeignet, die fluglärmbezogenen Herzinfarkt-Risiken abzubilden als die Straßenverkehrslärm-bedingten Erkrankungsrisiken. Aufgrund der Häufigkeit der Verkehrslärmexposition ebenso wie der Herzinfarkt-Erkrankungen in der Bevölkerung kommt selbst geringen Risikoerhöhungen eine Bedeutung zu. Die bei allen drei Verkehrslärmarten vergleichbar hohen Risikoschätzer in der Subgruppe der Verstorbenen (deutlich über den jeweiligen Risikoschätzern als in der Gesamtgruppe der Versicherten) weisen darauf hin, dass Verkehrslärm möglicherweise nicht nur die Entstehung, sondern darüber hinaus auch den Verlauf des Herzinfarktes beeinflusst.

Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Römer K, Pons-Kühnemann J, Swart E, Zeeb H, Hegewald J. Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease – A case-control study based on secondary data. Int J Hyg Env Health (2016) 219: 749-758.

Fragestellung:

Diese Veröffentlichung berichtet Ergebnisse aus dem Modul 2 (Gesundheit), Teilstudie 1 (Sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie mit vertiefender Befragung) des NORAH Projektes (s. auch S. 60). Hier wird insbesondere die Expositions-Risiko-Beziehung zwischen Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm und Herzinsuffizienz sowie Hochdruck-bedingter Herzerkrankung erörtert.

Methode:

Im Rhein-Main-Gebiet wurden 104.145 Patienten mit der Diagnose Herzinsuffizienz oder Hochdruck-bedingter Herzerkrankung zwischen 2006 und 2010 mit 654.172 Kontrollpersonen verglichen. Die Einteilung der Gruppen basierte auf Abrechnungs- und Verordnungsdaten dreier gesetzlicher Krankenkassen. Für alle Versicherten wurde adressgenau die Exposition gegenüber Straßen-, Schienenverkehrs- und Fluglärm aus den Jahren 1996-2010 berechnet. Als Risikoschätzer wurden mittels logistischer Regressionsanalyse Odds Ratios berechnet, adjustiert für Alter, Geschlecht, regionale Sozialstatusvariable (soweit verfügbar). Die Auswertungen erfolgten auf der Grundlage der kontinuierlichen 24-Stunden-Dauerschallpegel und der kategorisierten Schallpegel (5 db Klassen).

Durchführungszeitraum:

Krankenkassendaten 2005-2010. Lärmmodell 1996-2010. Befragung 2011-2013.

Confounder:

Als potentielle Confounder wurden Geschlecht, Alter, Bildung und Beruf (aus dem Tätigkeitskennzeichen) und regionale SGB II (Sozialhilfe) Quote erfasst. In einer vertiefenden Befragung einer Stichprobe der Fälle mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie der entsprechenden Kontrollpersonen wurden nicht oder nicht vollständig erfasste Confounder erhoben (Bildungsstand, Beruf, Einkommen, Rauchen, Größe und Gewicht, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Arbeitslärm und körperliche Aktivität). Zudem wurden Faktoren erhoben, die eine Abschätzung des Innenraumpegels ermöglichen. Die Methode der „vertiefenden Befragung“ erlaubt hier nun die genauere Betrachtung von ansonsten in großen Fall-Kontroll-Studien nur unzureichend zu erfassenden Confoundern.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Bei Überprüfung einer linearen Expositions-Risiko-Beziehung zwischen den jeweiligen Verkehrslärmarten und einer Diagnose von Herzinsuffizienz und Hochdruck-bedingter Herzerkrankung zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang für Fluglärm (1,6% Risikozunahme pro 10 dB Zunahme des äquivalenten Dauerschalldruckpegels), für Straßenverkehrslärm (2,4% pro 10 dB) und für Bahnlärm (3,1% pro 10 dB). Für Fluglärm lagen die Dauerschalldruckpegel niedriger als für Straßenverkehrslärm und Bahnlärm. Äquivalente Dauerschalldruckpegel >65 dB für Fluglärm wurden nicht erreicht. Unter der Annahme, die Wirkung von Fluglärm vermittelt sich eher durch die Geräuschpeaks gegenüber dem Hintergrundpegel wurde auch eine Gruppe analysiert mit Dauerschalldruckpegel <40 dB mit 6 oder mehr Geräuschpeaks über 50 dB. In dieser Gruppe zeigte sich ein erhöhtes Risiko (6%) gegenüber den Personen <40 dB ohne Geräuschpeaks. Generell lag das Risiko für Hochdruck-bedingte Herzerkrankungen über dem für Herzinsuffizienz bei allen drei Verkehrsarten.

Tab. 56 Zusammenhang zwischen Verkehrslärm (in LAeq24h) und der Neuerkrankung an Herzinsuffizienz bzw. Hochdruck-bedingter Herzerkrankung (Seidler et al., 2016)

Exposition	Fluglärm		Straßenverkehrslärm		Schienenlärm	
	OR	95%-KI	OR	95%-KI	OR	95%-KI
Herzinsuffizienz und Hochdruck-bedingte Herzerkrankung						
<40 dB, max <50 dB	1,0		1,0		1,0	
<40 dB, max >50 dB	1,06*	1,03-1,09				
≥40 – 45 dB	1,01	0,99-1,03	1,03*	1,00-1,05	1,02*	1,00-1,04
≥45-50 dB	1,07*	1,04-1,09	1,02*	1,00-1,05	1,07*	1,05-1,09
≥50-55 dB	1,00	0,96-1,03	1,02	0,99-1,05	1,05*	1,03-1,08
≥55-60 dB	1,03	0,98-1,09	1,04*	1,01-1,08	1,04*	1,00-1,07
≥60-65 dB	0,97	0,61-1,53	1,07*	1,03-1,10	1,09*	1,03-1,15
≥65-70 dB			1,09*	1,05-1,13	1,06	0,98-1,16
≥70 dB			1,13*	1,06-1,20	1,17*	1,04-1,3
Kontinuierlich pro 10 dB	1,016*	1,003-1,03 p=0,02	1,024*	1,016-1,032 p<0,001	1,031	1,022-1,041 p<0,001
Herzinsuffizienz						
<40 dB, max <50 dB	1,0		1,0		1,0	
<40 dB, max >50 dB	1,03	1,00-1,07				
≥40 – 45 dB	0,96	0,93-0,98	0,97	0,95-1,01	0,98	0,96-1,01
≥45-50 dB	1,02	0,99-1,05	0,97	0,94-1,00	1,04*	1,01-1,06
≥50-55 dB	0,92	0,89-0,96	0,95	0,92-0,98	1,02*	1,00-1,05
≥55-60 dB	0,93	0,87-1,0	1,0	0,96-1,03	1,04	0,99-1,08
≥60-65 dB	1,12	0,67-1,88	1,0	0,96-1,04	1,11*	1,04-1,19
≥65-70 dB			1,02	0,97-1,06	1,07	0,96-1,18
≥70 dB			1,08*	1,01-1,17	1,17*	1,03-1,34
Kontinuierlich pro 10 dB	0,974	0,958-0,99 p=0,001	1,011*	1,001-1,021 p=0,03	1,023*	1,012-1,034 p<0,001
Hochdruck-bedingte Herzerkrankung						
<40 dB, max <50 dB	1,0		1,0		1,0	
<40 dB, max >50 dB	1,16*	1,11-1,2				
≥40 – 45 dB	1,18*	1,15-1,21	1,16*	1,12-1,2	1,12*	1,08-1,15
≥45-50 dB	1,24*	1,21-1,28	1,18*	1,14-1,22	1,15*	1,12-1,18
≥50-55 dB	1,19*	1,14-1,24	1,18*	1,13-1,22	1,12*	1,09-1,16
≥55-60 dB	1,26*	1,18-1,35	1,17*	1,12-1,22	1,05*	1,0-1,1
≥60-65 dB	0,86	0,45-1,65	1,24*	1,19-1,3	1,09*	1,01-1,17
≥65-70 dB			1,25*	1,19-1,32	1,09	0,97-1,22
≥70 dB			1,25*	1,16-1,36	1,07	0,92-1,24
Kontinuierlich pro 10 dB	1,126*	1,107-1,14 p<0,001	1,052*	1,041-1,063 p<0,001	1,055*	1,042-1,067 p<0,001

*signifikant

Selander J, Bluhm G, Theorell T, Pershagen G, Babisch W, Seiffert I, Houthuijs D, Breugelmans O, Vigna-Taglianti F, Antoniotti MC, Veonakis E, Davou E, Dudley ML, Järup L. Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. *Environmental Health Perspectives* (2009) 117, 11: 1713-7.

Fragestellung:

Ein Zusammenhang zwischen kardiovaskulären Erkrankungen und Verkehrslärmbelastung wird angenommen. Dieser könnte vermittelt werden durch eine lärmbedingte Ausschüttung von Stresshormonen. In der hier vorliegenden Studie wird der Zusammenhang von Lärmbelastung am Wohnort und der Ausschüttung von Cortisol untersucht.

Methode:

In einer Subgruppe der HYENA Studie (s. S. 55) wurden 439 Studienteilnehmer aus 6 Nationen unterteilt in Lärmgruppen bezogen auf die jeweilige Flug-Lärmbelastung am Wohnort (<50 dB, 50-60 dB, >60 dB $L_{Aeq, 24h}$) untersucht. Sie sammelten dreimal an einem Tag eine Speichelprobe (30 Minuten nach dem Aufwachen; direkt vor dem Mittagessen; vor dem Zu-Bett-Gehen am Abend). Darin wurde Cortisol bestimmt. Statistisch wurde eine lineare Korrelationsanalyse durchgeführt.

Durchführungszeitraum:

Befragung 2003-2005. Die Lärmexposition am Wohnort wurde in einem Lärmmodell für 2002 erhoben.

Confounder:

Als mögliche Confounder wurden in der HYENA Gesamtstudie betrachtet: Geschlecht, Alter, Risikofaktoren für Bluthochdruck (Alkoholkonsum, BMI, körperliche Aktivität) und Bildungsstand. Nachtschicht-Arbeitende wurden von dieser Teilstudie ausgeschlossen, da die Ausschüttung von Cortisol einer zirkadianen Rhythmik gehorcht. Die Personen für diese Teilstudie wurden aus dem Gesamtkollektiv der HYENA Studie ausgewählt. Es wurden bewusst Personen mit sehr starker Belastung durch Verkehrslärm als auch mit geringer Belastung durch Lärm untersucht (> 60 vs. ≤ 50 dBA), um den Kontrast sichtbar zu machen.

Ergebnisse:

Frauen, die an ihrem Wohnort einem Geräuschpegel von >60 dB über 24h ausgesetzt sind, hatten in dieser Untersuchung einen signifikant höheren morgendlichen Cortisol-Anstieg (6,07, Konfidenzintervall 2,32-9,81) als Frauen mit Lärmbelastung <50 dB über 24h. Bei den Männern zeigte sich kein Zusammenhang. Wenn die einzelnen teilnehmenden Länder separat untersucht wurden, zeigte sich nur ein signifikanter Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Anstieg der Cortisol-Werte im Speichel bei den britischen Frauen.

Zwischen der Straßenlärmbelastung und den Cortisolspiegeln im Speichel wurden keine Assoziationen gefunden.

Tab. 57 Lineare Regressionskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Flugverkehrslärm und morgendlichen Cortisolwerten (Selander et al., 2009)

L _{Aeq} 24h (dB)	Alle		Frauen		Männer	
	N	Koeffizient	N	Koeffizient	N	Koeffizient
Korrelation für 5 dB	439	0,25	230	0,8*	209	-0,33
Kategorien						
<50 dB	174		97		77	
50-60 dB	142	1,04	77	2,16	65	0,06
≥60 dB	123	1,83	56	6,07*	67	-2,0

***signifikant**

Frauen, die sich in einem Beschäftigungsverhältnis befinden, zeigten höhere morgendliche Cortisol-Werte als unbeschäftigte Frauen. In den übrigen Analysen zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge. Es war auch kein Zusammenhang zwischen der individuell empfundenen Lärmbelastung und den Cortisolwerten erkennbar. Die unterschiedliche Reaktion zwischen Frauen und Männern konnte nicht erklärt werden.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Autoren schlussfolgern, dass die Belastung durch Fluglärm bei Frauen einen erhöhten morgendlichen Cortisol Anstieg zur Folge hat. Dieses könnte ein Risikofaktor für eine kardiovaskuläre Folgeerkrankung sein. Es stützt möglicherweise die These, dass eine Zunahme der kardiovaskulären Erkrankungen durch hohe Fluglärmbelastung stresshormon-vermittelt ist.

Sorensen M, Harbo Poulsen A, Ketzler M, Oksbjerg Dalton S, Friis S, Raaschou-Nielsen O.
Residential exposure to traffic noise and risk for non-hodgkin lymphoma among adults.
Environmental Research (2015) 142: 61-65

Fragestellung:

Ist Verkehrslärm (Straßen-, Schienen- und Flugverkehr) assoziiert mit Non-Hodgkin-Lymphomen (Lymphdrüsenkrebs)?

Methode:

Untersucht wurde in einer nationalen (Dänemark) Fall-Kontrollstudie der Zusammenhang von Verkehrslärm und dem Neuauftreten von Non-Hodgkin-Lymphomen (NHL). Insgesamt 2.753 Fällen (Alter 30-84 Jahre) einer Neuerkrankung mit NHL wurden pro Erkrankungsfall jeweils 2 Fälle ohne Erkrankung gegenübergestellt, die den Erkrankungsfällen in Geschlecht und Geburtsjahr entsprachen. Die Zusammenhänge wurden ermittelt per logistischer Regressionsanalyse.

Die Exposition für Straßen- und Schienenverkehr wurde anhand der Adressangabe der jeweiligen Personen berechnet. Die Fluglärmaxposition wurde geschätzt anhand bestehender Lärmpegelzonen (entsprechend der Adressdaten) in 5 dB Stufen jeweils für den durchschnittlichen 24h-Schalldruckpegel L_{den} .

Erhebungszeitraum:

Krebserkrankungen zwischen 1992-2010, Exposition zwischen 1987 - 2010.

Confounder:

Die Teilnehmer-Daten wurden gemittelt entsprechend Bildungsabschluss, Familienstand und Einkommensgruppen (vor und nach Steuer, bezogen auf die im Haushalt lebenden Menschen, altersstandardisiert). Durch das Fall-Kontrollprinzip wurden die Daten kontrolliert für Geschlecht und Alter.

Ergebnisse:

Beim Straßenverkehrslärm zeigte sich für die Teilnehmer mit einer Lärmbelastung von >65 dB L_{den} gegenüber denen mit $L_{den} < 55$ dB nach mindestens 5 Jahren Exposition eine Risikozunahme um 18% (Konfidenzintervall 1,01-1,37, 10-37%). Keine statistische Risikoerhöhung bestand gegenüber der Gruppe der Teilnehmer mit L_{den} von 55-65 dB.

In der Analyse der NHL-Subtypen zeigte sich keine statistisch signifikante Risikoerhöhung für T-Zell-Lymphome. Für B-Zell-Lymphome und unspezifische Lymphome zeigte sich erneut eine Risikoerhöhung bei den Teilnehmern mit > 65 dB Belastung.

Für die Expositionsparameter Fluglärm- und Schienenverkehrslärm zeigten sich bei allen untersuchten Erkrankungen keine statistisch signifikanten Risikoerhöhungen.

Tab. 58 Zusammenhang zwischen Exposition zu Umgebungslärm und dem Auftreten von Non-Hodgkin-Lymphomen (Sorensen et al., 2015)

	N	Odds ratio	Odds ratio (adjustiert)
Straßenlärm			
1 Jahr Exposition			
<55 dB	1133	1,0	1,0
55-65 dB	1221	0,99	1,0
≥ 65 dB	399	1,21*	1,22*
5 Jahre Exposition			
<55 dB	1103	1,00	1,0
55-65 dB	1256	0,97	0,98
≥ 65 dB	394	1,16*	1,18*
Schieneilärm			
0 dB	2345	1,0	1,0
0-55 dB	272	0,88	0,88
≥55 dB	136	1,04	1,04
Fluglärm			
<55 dB	2736	1,0	1,0
≥55 dB	17	1,35	1,43

*signifikant

Schlussfolgerung der Autoren:

Häufig wird ein Zusammenhang von Verkehrslärm und Stressreaktionen bzw. Schlafstörungen diskutiert. Diese können zu einer Beeinträchtigung des Immunsystems und damit zu einem Risikoanstieg für das Auftreten einer malignen Erkrankung führen. In der hier vorliegenden Studie sollte ein Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und dem Auftreten von Non-Hodgkin-Lymphomen untersucht werden.

Es zeigte sich eine Risiko-Zunahme von 18% für das Neuaufreten eines Non-Hodgkin-Lymphoms (NHL) durch Straßenverkehrslärm >65 dB gegenüber einer Belastung mit <55 dB. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von NHLs und Flug- oder Schienenverkehrslärm.

Stansfeld S, Clark C, Cameron R, Alfred T, Head J, Haines M, van Kamp I, van Kempen E, Lopez-Barrio I. Aircraft and Road traffic noise exposure and children's mental health. Journal of Environmental Psychology (2009) 29: 203-207

Fragestellung:

Psychische Gesundheit bei Kindern im Umfeld dreier großer Verkehrsflughäfen. Beeinflusst Lärm durch Flug- bzw. Straßenverkehr die mentale Gesundheit unabhängig?

Methoden:

Die hier vorliegende Untersuchung ist Teil der sogenannten RANCH Studie. Untersucht wurden 2.844 Schüler zwischen 9-10 Jahren, die eine von 89 Schulen in definierter Nähe zu einem großen Verkehrsflughafen (Amsterdam, London, Madrid) besuchten. Informationen zu der Studie, zu den Methoden der Lärmabschätzung, der Untersuchung und Befragung der Kinder, der berücksichtigten Confounder etc. und Beschreibungen der Grundgesamtheiten s. S. 71:

Die Eltern der in die RANCH-Studie eingeschlossenen Kinder wurden unter anderem mit dem *Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ)* befragt, ein standardisierter Fragebogen, der unter anderem Verhaltensauffälligkeiten, Hyperaktivitätssyndrome und Sozialstörungen der Kinder erhebt. In der vorliegenden Publikation wurden die Ergebnisse der SDQ-Befragung veröffentlicht.

Ergebnisse:

Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zu hoher Fluglärmbelastung nur in der Kategorie Hyperaktivität, nicht in den anderen Kategorien wie Verhaltensauffälligkeiten, Gruppenverhalten, unsoziales Verhalten und Emotionen und nicht im Gesamtscore.

Im Bereich „Belastung durch Straßenverkehrslärm“ zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zu Verhaltensauffälligkeiten. Adjustiert wurde auch für mögliche Confounder (Model 2).

Schlussfolgerung der Autoren:

Zusammenhänge zwischen Fluglärmbelastung und Hyperaktivität waren auch in anderen britischen Studien bereits diskutiert worden. Diese Studie stützt die These einer Verstärkung von hyperaktiven Tendenzen durch Fluglärmbelastung. Weitere Studien sind notwendig.

Diese Studie zeigte keine Effekte von Fluglärm oder Straßenverkehrslärm auf die mentale Gesundheit und das Wohlbefinden von Kindern wie sie im Strength and Difficulties Questionnaire erhoben werden. Die Raten der psychischen Störungen in RANCH sind vergleichbar mit nationalen Daten (Großbritannien) (Meltzer et al. 2003). Nichtsdestotrotz waren höhere Skalenwerte auf der Hyperaktivitäts-Subskala assoziiert mit höheren Fluglärmbelastungen. Höhere Skalenwerte auf der Subskala für Verhaltensstörungen waren assoziiert mit einer höheren Straßenlärmbelastung.

Verkehrslärm scheint hier keinen Effekt auf die mentale Gesundheit von Kindern zu haben. Möglicherweise könnte es durch eher subtile Effekte der episodischen Lärmbelastung auf Symptome der Hyperaktivität maskiert sein. Die dargestellten Effekte von Fluglärm auf die Hyperaktivität und von Straßenlärm auf Verhaltensstörungen sollten in weiteren Untersuchungen kontrolliert werden.

(Anmerkung Dr. Steul: In diesem Zusammenhang sei auch verwiesen auf die Publikation von Clark et al. 2013. Hier zeigte sich im Langzeitverlauf keine Beeinflussung des „Hyperaktivitätsscores“ durch die Fluglärmbelastung mehr).

Tab. 59 Multivariate Analyse für Flug- und Straßenverkehrslärm und mentale Gesundheit
(Stansfeld et al., 2009) * sign.

		β	95% KI	p-Wert
Fluglärm Gesamtwert	Modell 1	-0,018	-0,053, 0,017	0,314
	Modell 2	0,013	-0,012, 0,038	0,31
Hyperaktivität	Modell 1	-0,006	-0,023, 0,01	0,471
	Modell 2	0,013	0,001, 0,024	0,032*
Verhaltensstörungen	Modell 1	-0,016	-0,028, -0,005	0,007
	Modell 2	-0,005	-0,013, 0,003	0,22
Peer Probleme	Modell 1	0,005	-0,004, 0,013	0,285
	Modell 2	0,004	-0,004, 0,013	0,296
Sozialverhalten	Modell 1	0,004	-0,005, 0,012	0,398
	Modell 2	0,002	-0,007, 0,01	0,72
Emotionale Probleme	Modell 1	0,0002	-0,01, 0,01	0,962
	Modell 2	0,001	-0,009, 0,011	0,785
Straßenverkehrslärm Gesamtwert	Modell 1	0,011	-0,034, 0,056	0,638
	Modell 2	-0,018	-0,049, 0,013	0,275
Hyperaktivität	Modell 1	0,012	-0,009, 0,033	0,251
	Modell 2	0,0002	-0,014, 0,014	0,982
Verhaltensstörungen	Modell 1	0,001	-0,014, 0,017	0,871
	Modell 2	-0,01	-0,02, -0,001	0,033*
Peer Probleme	Modell 1	-0,007	-0,018, 0,004	0,201
	Modell 2	-0,009	-0,019, 0,001	0,072
Sozialverhalten	Modell 1	-0,008	-0,019, 0,003	0,178
	Modell 2	-0,004	-0,014, 0,007	0,490
Emotionale Probleme	Modell 1	0,004	-0,008, 0,017	0,509
	Modell 2	0,001	-0,011, 0,014	0,828

Modell 1: unadjustiert, multimodale Analyse

Modell 2: adjustiert für Alter, Geschlecht, Land, Bildung der Mutter, Angestelltenstatus, Wohneigentümerstatus, chron. Erkrankung, Muttersprache, elterliche Unterstützung, Verglasung Klassenraum und anderweitige Lärmbelastung

Stansfeld S, Hygge S, Clark C, Alfred T. Night time aircraft noise exposure and children`s cognitive performance. Noise and Health (2010) 12: 49, 255-62

Fragestellung:

Beeinträchtigt insbesondere die nächtliche Lärmbelastung die kognitiven Fähigkeiten von Kindern?

Methode:

Es handelt sich hier um eine zusätzliche Analyse von bereits publizierten Studien aus München aus den Jahren 1991/1993 (Bullinger et al. 1999, Hygge et al. 2002, Evans et al. 1998, Literaturbericht 2008) und der RANCH-Studie von 2001-2003 (Stansfeld et al., 2005). In der Münchner Studie waren 24h-Lärmpegel an der Wohnung der Kinder gemessen worden, so dass auch immanente Daten der nächtlichen Fluglärmbelastung in die Analysen mitgingen (leider nicht getrennt für Tag und Nacht, sondern nur als Summenpegel). In der RANCH-Studie waren grundsätzlich 16h-Pegel berücksichtigt worden, d.h. 7-23 Uhr. Um die Auswirkung nächtlichen Fluglärms betrachten zu können, wurden von der britischen Luftfahrtbehörde retrospektiv die Daten der nächtlichen Lärmbelastung zum damaligen Untersuchungszeitpunkt (2001-2003) zur Verfügung gestellt, so dass die damaligen Untersuchungen im Umfeld des Londoner Flughafens (nicht der anderen Flughäfen in Amsterdam und Madrid) nochmals im Hinblick auf nächtlichen Fluglärm ausgewertet werden konnten.

In Deutschland (**Münchner Studie**) waren 326 Kinder im Alter von 9 bis 11 Jahren untersucht worden, die während eines Standortwechsels des Flughafens München jeweils in einer entweder vor dem Standortwechsel Lärm-belasteten Gegend wohnten oder danach. Sie wurden standardisiert getestet an drei verschiedenen Zeitpunkten („Wellen“) (6 Monate vor Schliessung des alten Flughafens bzw. vor Eröffnung des neuen Flughafens und 6 und 18 Monate danach). In zwei Kontrollgruppen wurden jeweils noch Kinder ohne besondere Fluglärmbelastung (gemittelt auf Faktoren wie z.B: den Sozialstatus) untersucht. Alle teilnehmenden Kinder bzw. ihre Mütter wurden ebenfalls noch zur Schlafqualität der Kinder befragt.

Desweiteren wurden in diese Untersuchung zu den Auswirkungen nächtlichen Fluglärms Kinder der **RANCH** Studie (Standort London) mit einbezogen: 857 Kinder im Alter von 9 bis 10 Jahren, die zum Zeitpunkt der Untersuchung rund um den englischen Flughafen London Heathrow wohnten. Auch hier wurden die teilnehmenden Schulen gemittelt in Bezug auf Faktoren des Sozialstatus. Die Kinder wurden Gedächtnis- und anderweitigen Leistungstestungen unterzogen. Eltern und Kinder beantworteten Fragen in Bezug auf persönliche Daten, Schlafqualität und Gesundheit. Die nächtliche Lärmbelastung wurde über die angegebene Adresse und Daten der nationalen Flugbehörde erhoben.

Confounder:

In beiden Studien wurden Daten zum Sozialstatus erhoben.

Ergebnisse:

In der **Münchner Studie** zeigte sich - mit zunehmendem Alter der Kinder (Verlauf über 2 Jahre!) - eine Abnahme von Fehlern in einer Liste schwieriger Wörter über die drei Untersuchungswellen in allen Gruppen außer in der Kontrollgruppe um den alten Flughafen. Die von Eltern und Kindern angegebene Schlafqualität wurde über die Wellen etwas schlechter, auch hier zeigte sich kein eindeutiger Zusammenhang zur Fluglärmbelastung. Die Autoren schließen daraus: „Die Ergebnisse unterstützen nicht die Hypothese, dass nächtlicher Fluglärm die kognitive Leistung von Kindern vermittelt über die berichtete Schlafqualität beeinträchtigt“.

Abb. 71 Mittlere Fehlerhäufigkeit in einer Aufmerksamkeitsstestung in den verschiedenen Messphasen an beiden Flughafenstandorten, L_{Aeq} jeweils über dem passenden Balkendiagramm (Munich Study)

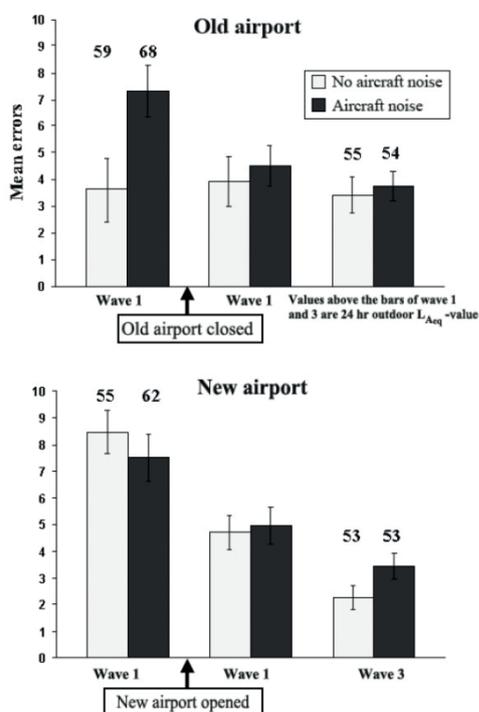
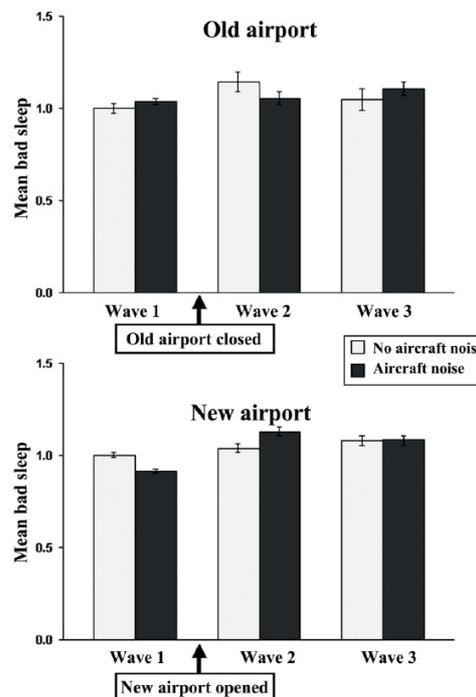


Abb. 72 Mittelwerte der Schlafqualität in den verschiedenen Messphasen an beiden Flughafenstandorten, Hohe Werte stehen für eine schlechtere Schlafqualität (Munich Study)



In der **RANCH** Studie zeigte sich, dass der Fluglärm am Tag zwar insgesamt recht gut mit dem Fluglärm in der Nacht korrelierte, gleichwohl war bei höheren Fluglärmbelastungen am Tage eine deutliche Spreizung der Fluglärmbelastung in der Nacht zu sehen. Für das Item Leseverständnis zeigten sich hoch-signifikante Zusammenhänge für den Status Wohneigentümer, die Bildung der Mutter und die elterliche Unterstützung. Signifikante Zusammenhänge zeigten sich für Einschlafschwierigkeiten, nächtliche Wachzeit, Geschlecht, chronische Erkrankungen und Muttersprache. Für das Item Wiedererkennung/Erinnern (Tabelle 4 in der Publikation) zeigten sich gleiche positive Effekte für mütterliche Bildung, Wohneigentum, elterliche Unterstützung, Landessprache und nächtlicher Fluglärm. In einigen Tests (Leseverständnis, Gedächtnis/Wiedererkennung) wurde ein Effekt von Lärmbelastung am Tag auf die Testergebnisse nachgewiesen. In anderen Tests (Wiederholungen und Aufmerksamkeit) zeigte sich kein Effekt.

Limitationen der vorliegenden Studie:

1. Der Fluglärm nachts ist nicht unabhängig vom Fluglärm am Tag; deswegen bleibt unklar, ob Tag- oder Nachtfluglärm den Effekt bedingt.
2. In der Münchner Studie gibt es keine Daten zur Lärmbelastung bei Nacht alleine (nur als 24h-Belastung). Es gibt allerdings belastbare Berichte über Schlafstörungen. Daher kann doch eine Bewertung abgegeben werden, inwiefern kognitive Beeinträchtigungen durch nächtlichen Fluglärm bzw. Schlafstörungen verursacht werden. In der Nachauswertung der RANCH Studie (London), zeigt sich kein deutlicher Effekt des Nachtfluglärms, insofern unterstützen sich die Ergebnisse beider Erhebungen gegenseitig.

Tab. 60 Multilevel-Analyse für Fluglärmexposition am Tag und in der Nacht und Leseverständnis (markiert signifikant) (Stansfeld et al., 2010)

	Modell 1		Modell 2		Modell 3	
	β	p-Wert	β	p-Wert	β	p-Wert
Nächtl. Fluglärm	-0,009	0,03	-0,004	0,5	-	
Nächtl. Fluglärm (Mehrbelastung, zentriert auf Fluglärm tags)	-		-		-0,004	0,5
Fluglärm tags Schule	-		-0,005	0,4	-0,01	0,02
Straßenverkehrslärm	-0,002	0,8	-0,002	0,7	-0,002	0,7
Einschlafschwierigkeiten	-0,311	0,001	-0,308	0,001	-0,308	0,001
Nächtliche Wachzeit	-0,055	0,04	-0,056	0,04	-0,056	0,04
Alter	-0,445	0,1	-0,442	0,1	-0,442	0,1
Geschlecht	-0,136	0,03	-0,136	0,03	-0,136	0,03
Arbeitslosigkeitsstatus	0,05	0,6	0,049	0,6	0,049	0,6
Wohneigentümer	0,273	<0,001	0,275	<0,001	0,275	<0,001
Bildung der Mutter	-0,687	<0,001	-0,678	<0,001	-0,678	<0,001
Chron. Erkrankung	-0,225	0,002	-0,225	0,002	-0,225	0,002
Muttersprache	0,177	0,04	0,176	0,04	0,176	0,04
Elterliche Unterstützung	0,096	<0,001	0,095	<0,001	0,095	<0,001
Verglasung Klassenraum	-0,054	0,2	-0,056	0,2	-0,056	0,2

Modell 1: Nächtl. Fluglärm, ohne Berücksichtigung des Fluglärms am Tage an der Schule

Modell 2: Nächtl. Fluglärm, mit Berücksichtigung des Fluglärms am Tage an der Schule

Modell 3: Nächtl. Fluglärm unter besonderer Berücksichtigung des zusätzlichen Effektes gegenüber nur Fluglärm tags

Schlussfolgerung der Autoren

Die hier vorliegende Studie zeigte keinen zusätzlichen Einfluss einer nächtlichen Lärmbelastung auf die kognitiven Leistungen von Kindern im Grundschulalter. In der Münchner Studie wurden die nächtlichen Geräuschpegel nicht erhoben, sondern nur die berichtete Schlafqualität. Diese war bei den stark fluglärm-belasteten Kindern nicht schlechter. In der RANCH Studie zeigte sich keine unabhängige Korrelation der nächtlichen Fluglärmbelastung zu den Testergebnissen. Die starke Korrelation zwischen Lärmbelastungen am Tag und in der Nacht macht es jedoch grundsätzlich schwer, eine unabhängige Belastung durch Fluglärm in der Nacht nachzuweisen.

Die Ergebnisse beider Studien weisen darauf hin (suggeriert), dass nächtlicher Fluglärm offenbar die kognitive Leistungen und deren Abnahme durch Fluglärm am Tage nicht weiter beeinflusst. Wir schlagen vor, dass der Hauptfokus auf die Schule und deren Umfeld gelegt wird, wenn es um den Schutz der Kinder vor fluglärmbedingten Effekten auf die Schulleistungen geht.

Tetreault L, Plante C, Perron S, Goudreau S, King N, Smargiassi A. Risk Assessment of Aircraft Noise on Sleep in Montreal. Can J Public Health (2012) 103 (4): 293-96

Fragestellung:

Zusätzliches Aufwachen durch Fluglärm in der Nähe des Flughafens Montreal.

Methode:

Als Datengrundlage wurden alle Personen herangezogen, die in einem Gebiet 10 km rund um den Flughafen Montreal lebten (Montreal Island, 1.934.082 Einwohner). Die Lärmpegel wurden erhoben via Lärmmodell (INM) für den Zeitraum 23:00 Uhr bis 07:00 Uhr. Um den Innenraum-Geräuschpegel erfassen zu können, wurden die Daten modelliert mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors der WHO (Night Noise Guidelines for Europe, 2009). Außerdem wurden die Lärmdaten angepasst für die Wahrscheinlichkeit von geöffneten oder geschlossenen Fenstern. Laut WHO reduziert die Hausdämmung im Durchschnitt bei geschlossenen Fenstern die Lärmbelastung (innen) um 30 dB, bei geöffneten Fenstern um 15dB. Die WHO empfiehlt eine durchschnittliche Reduktion von 21 dB für teils geöffnete und teils geschlossene Fenster im Durchschnitt anzunehmen. Miteinbezogen wurden desweiteren Windrichtungen, Flugzeugbeschaffenheiten etc.

Die Wahrscheinlichkeit für das zusätzliche Erwachen durch Fluglärm wurde berechnet unter Verwendung der „Expositions-Wirkungsbeziehung“ von Basner et al. (2006).

Confounder:

Da nur die Lärmbelastung außen gemessen wurde, wurden auch Modelle zur Anpassung für Dämmmaßnahmen rechnerisch mit einbezogen.

Durchführungszeitraum:

Es wurden per Lärmmodell alle maximalen Fluglärmgeräusche erhoben (Start, Landung), die rund um den Flughafen Montreal 2009 stattfanden. Die Anzahl der Haushalte wurde anhand kanadischer Steuerdaten von 2010 abgeschätzt. Die Anzahl der Bewohner pro Haushalt wurde mit kanadischen Zensuserhebungen von 2006 erhoben.

Die Lärmmessungen außen (23:00-07:00 Uhr) lagen zwischen 38 dB und 104 dB. Mehr als die Hälfte der Lärmereignisse wurden durch Flugbewegungen am Beginn (23:00-00:00 Uhr) oder am Ende der Nacht (06:00 – 07:00 Uhr) hervorgerufen. Wenn (wie von der WHO, Night Noise Guideline empfohlen) 21dB für die durchschnittliche Reduktion der Lärmbelastung außen durch teils geschlossene Fenster abgezogen werden, würden im Umfeld des Flughafens Montreal keine zusätzlichen Aufwachreaktionen stattfinden. Nach Abziehen von 15 dB (Annahme, dass alle Fenster nachts geöffnet bleiben) erfahren 590 Personen wenigstens eine zusätzliche Aufwachreaktion durch Fluglärm.

Schlussfolgerung der Autoren:

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind stark abhängig von der Anzahl der Bewohner des Gebietes und von den aktuellen Flugbewegungen. Desweiteren bezieht sich die Wahrscheinlichkeit der Aufwachreaktion auf Beobachtungen eines anderen Settings (Laborstudie, Deutschland, Altersgrenzen etc.). Das schränkt die Aussagefähigkeit der Studie ein.

Van den Berg F, Verhagen C, Uitenbroek D. The Relation between Self-Reported Worry and Annoyance from Air and Road Traffic. Int J Environ Res Public Health (2015) 12: 2486-2500

Fragestellung:

Zusammenhang zwischen Besorgnis und Belästigung durch Flugverkehr rund um den Flughafen Amsterdam Schiphol.

Methoden:

Es wurde eine Fragebogenerhebung im Bezirk Amstelland durchgeführt. Dieser Bezirk liegt südlich von Amsterdam und in direkter Nähe zum Flughafen Amsterdam Schiphol. Die Bevölkerung in Amstelland zählt 173.000 Bewohner (51,6% weiblich, 21% jünger als 18 Jahre, 62% zwischen 18-65 Jahren und 17% 65 Jahre und älter). Insgesamt wurden 6.876 Personen (gleich verteilt über die jeweiligen Altersgruppen, 19-64 Jahre) angeschrieben. 3.817 Personen nahmen an der Fragebogenerhebung teil. Es wurden Fragen zum Gesundheitszustand gestellt, zur körperlichen Aktivität, zu psychosozialen Problemen und auch zur Einstellung gegenüber Umweltbelastungen, Belästigung durch Flugverkehr/Lärm etc.. Fragen zur Belästigung wurden nur den Personen zwischen 19-64 Jahren gestellt. Dieses waren dann noch 1.968 Personen. Primär untersucht werden sollte der Zusammenhang zwischen Besorgnis (Worry) (jeweils 11-Punkte-Skala) in den letzten 12 Monaten in Bezug auf verschiedene Spezifika, Lärmquellen und der Belästigung durch diese.

Durchführungszeitraum:

Die Fragebogenerhebung fand 2010 statt.

Confounder:

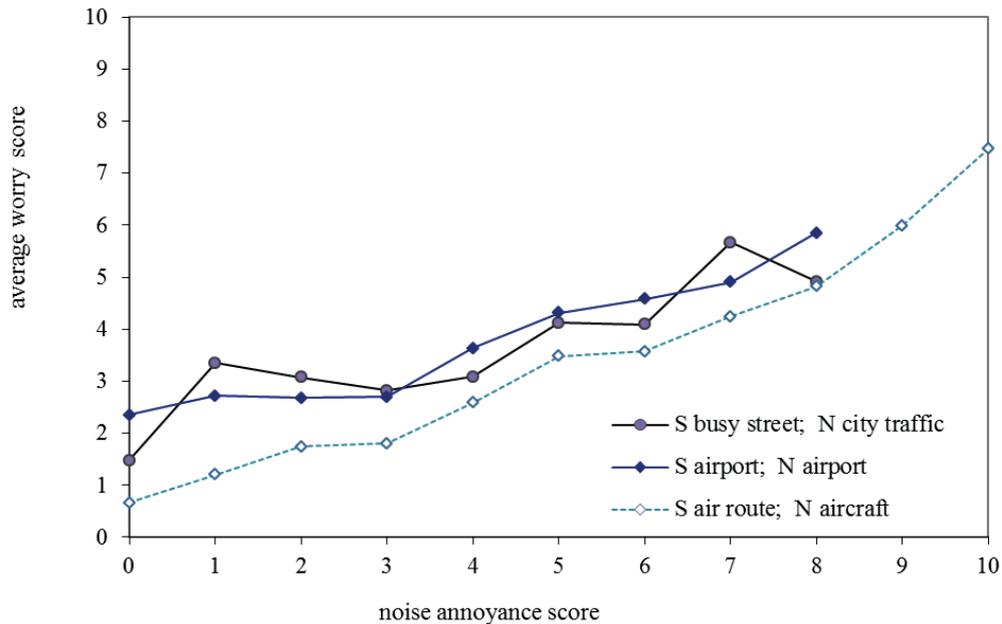
Die Teilnehmergruppe unterschied sich in Bezug auf ethnische Herkunft, Familienstand, Angestelltenstatus nicht von der Gesamtbevölkerung der Niederlande. Angaben zum Bildungsstand konnten nicht repräsentativ verglichen werden. Es wurden in der Studie auch Angaben erhoben zu Geburtsjahr, Geschlecht, Gesundheitszustand, Risiko für Depression und ein „Einsamkeitsindex“.

Ergebnisse:

Circa zwei Drittel der Teilnehmer (1.291) gaben an, in räumlicher Nähe zum Flughafen zu leben. 1.202 gaben an, unter einer Flugroute zu leben. Von diesen gaben 37% bzw. 42% „Besorgnis“ diesbezüglich an. Es zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen der Besorgnis in Bezug auf den Flughafen und der Besorgnis in Bezug auf die Flugroute. Es zeigten sich signifikante Unterschiede in Bezug auf Geschlecht, Alter und Bildungsstand. Männer und jüngere Personen waren weniger besorgt. Desweiteren waren Personen mit niedrigerem Bildungsstand stärker besorgt.

Die Ergebnisse zeigen außerdem eine starke Korrelation zwischen Belästigung durch Flugverkehr oder Fluglärm und der Besorgnis in Bezug auf das Risiko eines Wohnortes nahe am Flughafen oder unter einer Flugroute. Das gleiche gilt auch für die Besorgnis durch das Wohnen an einer vielbefahrenen Straße und Belästigung durch Lärm und Geruchsbelästigung durch Straßenverkehr.

Abb. 73 Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Besorgnis und der Belästigung durch Lärm von Personen, die selbst angeben, in einem bestimmten Bereich zu leben (vielbefahrene Straße, Flughafen, Flugroute) (van den Berg et al., 2015)



Schlussfolgerung der Autoren:

Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen laut Autoren nahe, dass Besorgnis über eine bestimmte Situation stark von persönlichen Faktoren und von Umweltfaktoren abhängen. Beides ist abhängig vom Vorhandensein von Lärm und/oder Geruchsbelästigung. Beides hat jedoch auch persönliche Charakteristika als Gemeinsamkeit zum Beispiel die Sensitivität auf Lärm. Wahrscheinlich kann Besorgnis ohne spezifische Exposition gegenüber Lärm oder Geruchsbelästigung auftreten. Die Exposition verstärkt jedoch den Grad der Besorgnis.

Van Gerven P, Vos H, Van Boxtel M, Janssen S, Miedema H. Annoyance from environmental noise across the lifespan. J Acoust Soc Am (2009) 126 (1) 187-194

Fragestellung:

Einfluss des Faktors Alter auf die individuell empfundene Belästigung durch Fluglärm anhand eines internationalen Datenpools und anhand einer niederländischen Datenerhebung.

Erhebungszeitraum:

Internationales Datenregister mit Daten von 1998-2008 (Publikationsjahr), die niederländischen Daten stammen aus dem sogenannten NET-371 (eine Erhebung rund um Amsterdam-Schiphol).

Confounder:

Zusätzlich zu den internationalen Daten (Untersuchungen zur Belästigung bei Menschen, die durch Flug-, Straßen- und/oder Schienenverkehrslärm belastet waren) wurden auch Daten im Umfeld des Flughafens Amsterdam-Schiphol (insgesamt 10.996 Teilnehmer) berechnet. Die Daten zur Belästigung durch Fluglärm rund um Amsterdam-Schiphol werden im sogenannten NET-371 gespeichert. Die Angabe „sehr stark belästigt durch Fluglärm“ (highly annoyed) war in diesem Datenset ca. 4 mal höher als im internationalen Vergleich. Dieses lässt sich durch die spezielle Situation erklären (intensive öffentliche Diskussionen über eine mögliche Expansion des Flughafens). Dieses könnte dazu führen, dass diese Daten den Gesamtdatenpool verändern. Aus diesem Grund wurden sie getrennt von den internationalen Daten bearbeitet. Daher ist die Studie auch in der Lage, einen Zusammenhang zwischen Belästigung durch Fluglärm und der Situation der öffentlichen Debatte darzustellen.

Desweiteren wurden die Daten im Hinblick auf folgende Confounder bereinigt: Geschlecht, Bildungsabschluss und Alter.

Methoden:

Untersucht wurden Datenpools von insgesamt 62.983 Personen zwischen 15 und 102 Jahren. Alle Teilnehmer waren in definierter Weise Verkehrslärm ausgesetzt und machten Angaben zur Belästigung durch Verkehrslärm. Die Daten wurden von der niederländischen Gesellschaft für angewandte Wissenschaften (TNO) gesammelt. Die anderen Studien waren in Europa, Nord-Amerika, Japan und Australien durchgeführt worden. Es wurden jeweils vollständige Sets mit Expositionsangabe, Belästigung und anderen Merkmalen gesammelt.

Um Angaben zur Belästigung zusammenführen zu können, wurden die Skalen jeweils in Skalen 0 bis 100 umgerechnet.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse dieses großen Datensatzes zeigen eine deutliche Beeinflussung des Grades der Belästigung durch das Alter im Sinne eines umgekehrten „U“ mit der höchsten Anzahl sehr stark belästigter Personen im mittleren Alter (ca. 45 Jahre) und der niedrigsten Anzahl bei den sehr jungen Erwachsenen und den alten Menschen.

Das Muster ist unabhängig von tatsächlichem Geräuschpegel und selbst-angegebener Geräuschempfindlichkeit.

Beispielsweise beschreibt das hier vorliegende Modell in der Gruppe der 45-Jährigen eine Rate von 10% mehr „stark belästigte Personen“ als in der Gruppe der 20-Jährigen und mehr als 20% als in der Gruppe der 80-Jährigen.

Abb. 74 Vorhergesagter prozentualer Anteil der Personen mit hohem Grad der Belästigung (%HA) in Abhängigkeit vom Alter (Amsterdam) (Fluglärm)

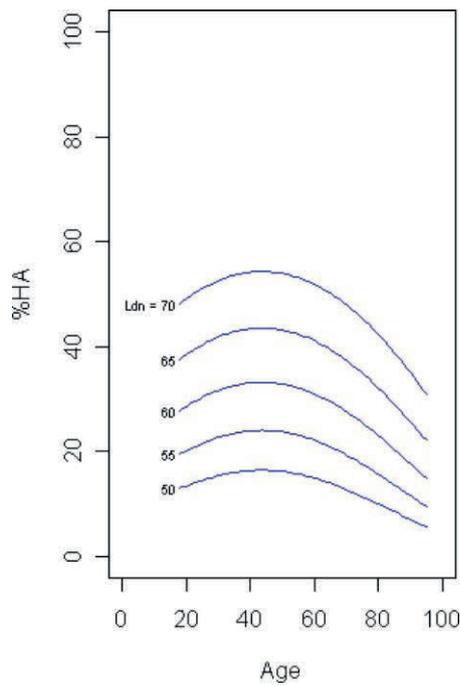


Abb. 75 Vorhergesagter prozentualer Anteil der Personen mit hohem Grad der Belästigung (%HA) in Abhängigkeit vom Alter (international) (Flug-, Straßen-, Schienenlärm)

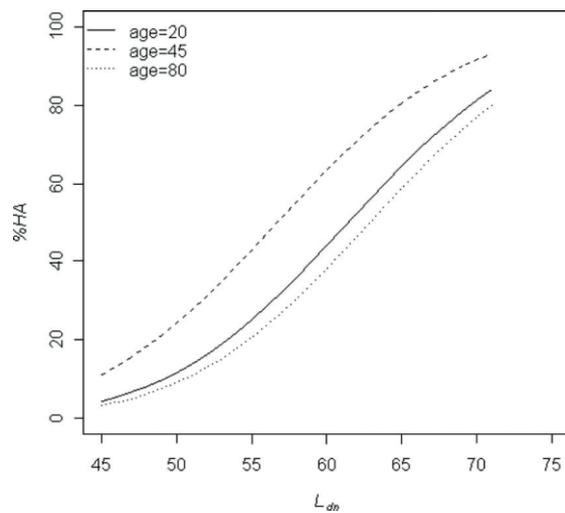


Abb. 76 Vorhergesagte Expositions-Wirkungskurven in Abhängigkeit vom Alter (Amsterdam) (Fluglärm)

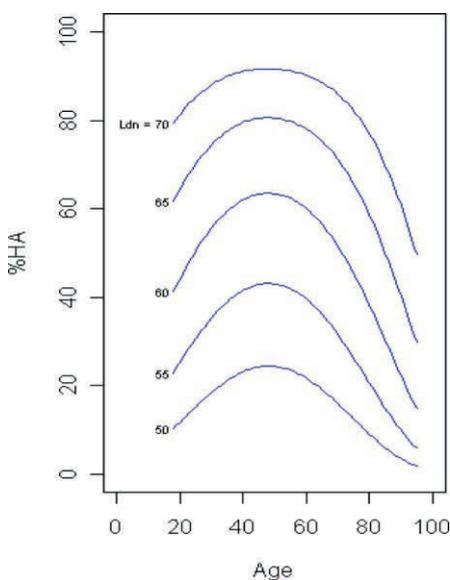
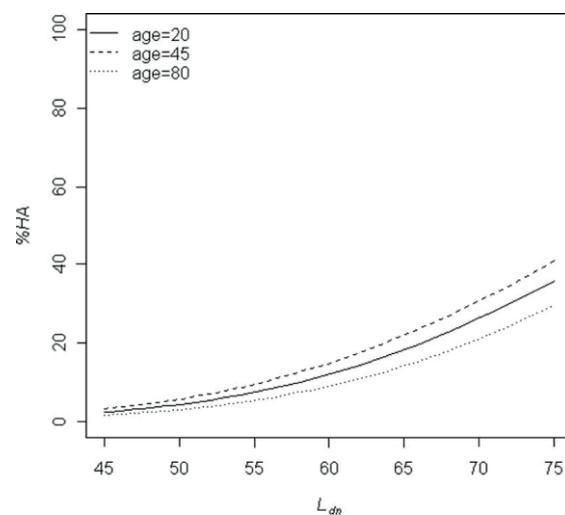


Abb. 77 Vorhergesagte Expositions-Wirkungskurven in Abhängigkeit vom Alter (international) (Flug-, Straßen-, Schienenlärm)



Schlussfolgerung der Autoren:

Nach Einschätzung der Autoren ist die hier vorliegende Studie hoch repräsentativ, da sowohl Studien aus westlichen Ländern als auch Studien aus der Türkei und Japan eingeschlossen wurden. Darüber hinaus wurden Studien aus verschiedenen Jahren (seit 1990) eingeschlossen.

Zweitens zeigt sie, dass besonders Personen im mittleren Alter betroffen sind durch ein hohes Maß an Belästigung. Dies zeigte sich sowohl in der internationalen Gruppe als auch in der niederländischen Gruppe. Diese machen häufig in Studienpopulationen gerade auch in Studien zum Herz-Kreislauf-Risiko einen hohen Anteil aus und könnten so divergierende Ergebnisse erklären.

Die Autoren diskutieren, dass in diesem Alter die Arbeitslast (Beruf, Kinder, Pflege von Eltern etc.) und die mentale Beanspruchung (daily mental workload) besonders hoch sind. So wird die Anpassungsfähigkeit (Ressourcen) in dieser Altersgruppe durch zusätzlichen Lärm ggf. erschöpft (pushed to the limit).

Van Kempen E, Fischer P, Janssen N, Houthuijs D, van Kamp I, Stansfeld S, Cassee F.
Neurobehavioral effects of exposure to traffic-related air pollution and transportation noise in primary schoolchildren. Environmental Research (2012) 115: 18-25

Fragestellung:

Bedeutet eine Kombination aus Verkehrslärm (Straßen- und Fluglärm) und Luftverschmutzung (NO₂) eine zusätzliche Beeinträchtigung der kognitiven Leistungen von Grundschulkindern?

Methode:

Untersucht wurden 553 Kinder im Alter von 9-11 Jahren (Teilnehmer der RANCH Studie, Amsterdam) auf Ihre kognitiven Leistungen in Abhängigkeit von Straßen- und Fluglärm in der Schule und zuhause. Erhoben wurde weiterhin für jedes Kind rechnerisch die Belastung durch Stickstoffdioxid (NO₂). Stickstoffdioxid kann in städtischen Gebieten als Maß für verkehrsbedingte Luftverschmutzung genutzt werden.

Die Kinder wurden mit der NES-Batterie untersucht: u.a. per SRTT-Reaktionszeit, SAT-Test zum schnellen Wechsel der Aufmerksamkeit, HECT Hand-Auge-Koordinationstest, SDST Symbol Digit Substitution Test (, der Wahrnehmung und Aufmerksamkeit misst); DMST Digit Memry Span Test (, bei dem die Kinder eine möglichst lange Sequenz einnern müssen).

Durchführungszeitraum:

Die Geräuschpegel wurden für jeden Teilnehmer berechnet aus einer Kombination aus der Belastung am Schul- und Wohnort in einem niederländischen Lärmmodell für das Jahr 2001. Straßenverkehrslärm wurde ermittelt aus Daten, die in den Jahren 2000-2001 gesammelt wurden. Die Luftbelastungsdaten wurden errechnet anhand von Messungen im Jahr 2001.

Confounder:

Die teilnehmenden Schulen wurden gemittelt in Bezug auf Faktoren wie den Sozialstatus am Wohnort und den Migrantenanteil.

Ergebnisse:

Eine Belastung mit Stickstoffdioxid in der Schule führte in einem (von 10) Testverfahren (Memory span length, Gedächtnisspanne) zu einem statistisch signifikant schlechteren Ergebnis - auch nach Berücksichtigung des Verkehrslärms. Der SAT, Switching-Attention-Test, Aufmerksamkeitsänderungstest, switch and arrows) zeigte einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Straßen- und Fluglärm in der Schule und einem schlechteren Testergebnis – auch nach Adjustierung für Stickstoffdioxid als Marker für Luftverschmutzung. Es zeigten sich keine Einflüsse der Belastung durch Luftverschmutzung oder Verkehrslärm im häuslichen Umfeld alleine. In der Kombination beider Belastungsfaktoren zusammen zeigten sich schlechtere Testergebnisse in einem Testverfahren.

Zusammenfassung der Autoren:

1. Signifikante Assoziation zwischen Luftbelastung an der Schule und Spanne der Erinnerung (DMST), auch nach Adjustierung für Lärm.
2. Signifikante Assoziationen zwischen Flug- und Straßenverkehrslärm an der Schule und Fehlern beim Arrow und den switch Aufgaben SAT.
3. Verkehrslärmbelastung und Luftbelastung hatten einen kombinierten Effekt auf die Reaktionszeit SRTT und die block and arrow Aufgaben des SAT.

Tab. 61 Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung, Straßen- und Fluglärm am Schulstandort und kognitiver Funktion (van Kempen et al., 2012)

Test	Exposition	Geschätzte Veränderung für 10µg/m ³ bzw. 10dB	Geschätzte Veränderung für 10µg/m ³ bzw. 10dB	Geschätzte Veränderung für 10µg/m ³ bzw. 10dB
DMST, Spannweite	NO ₂	-0,16*	-0,16*	
	Straßenverkehr		0,00	-0,03
	Fluglärm zuhause		0,03	0,05
Reaktionszeit	NO ₂	-0,09	-1,18	
	Straßenverkehr		1,9	1,64
	Fluglärm zuhause		-0,8	-0,72
SAT, Block, Anzahl Fehler	NO ₂	-0,01	-0,01	
	Straßenverkehr		0,0	0,0
	Fluglärm zuhause		0,01	0,01
SAT, Block, Reaktionszeit	NO ₂	8,16	7,38	
	Straßenverkehr		1,69	3,29
	Fluglärm zuhause		2,64	2,14
SAT, Pfeil, Anzahl Fehler	NO ₂	0,01	-0,16	
	Straßenverkehr		0,3*	0,26*
	Fluglärm zuhause		-0,12	-0,11
SAT, Pfeil, Reaktionszeit	NO ₂	8,22	11,42	
	Straßenverkehr		-4,43	-1,96
	Fluglärm zuhause		13,48	12,71
SAT, Wechsel, Anzahl Fehler	NO ₂	-0,34	-0,63	
	Straßenverkehr		0,71	0,57
	Fluglärm zuhause		0,92*	0,97
SAT, Wechsel, Reaktionszeit	NO ₂	1,91	11,4	
	Straßenverkehr		-15,14	-12,5
	Fluglärm zuhause		11,69	10,64
Hand-Auge Koordination, Abweichung	NO ₂	0,06	0,04	
	Straßenverkehr		0,03	0,04
	Fluglärm zuhause		0,01	0,01
Symbol Ergänzung, Latenz	NO ₂	0,05	0,02	
	Straßenverkehr		0,04	0,05
	Fluglärm zuhause		-0,06	-0,06

*signifikant

Laut Autoren sind die Ergebnisse schwierig zu interpretieren: „Sowohl die Verminderung der Erinnerungsspanne bezogen auf NO₂ als auch die Erhöhung der Fehler im SAT bezogen auf Luft- und Lärmbelastung waren klein und die Bedeutung dieser kleinen Änderungen ist schwer festzulegen. Die interne Konsistenz der Ergebnisse ist gering: es wurden keine klaren Zusammenhänge zwischen Luftverschmutzung und anderen kognitiven Effekten gefunden. Deswegen kann nicht ausgeschlossen werden, dass unsere Ergebnisse Zufallsergebnisse sind“.

Schlussfolgerung der Autoren:

„Unsere Ergebnisse geben Hinweise (some support), dass längere Exposition gegenüber verkehrsbedingter Luft- und Lärmbelastung die kognitive Entwicklung negativ beeinflusst. Obwohl unsere Ergebnisse einige unabhängige Effekte von Luft- und Lärmbelastung nahelegen (suggest), wurden auch unerwartete Effekte gefunden. Angesichts des neuen Forschungsfeldes sind weitere Untersuchungen erforderlich, um klare Schlussfolgerungen ziehen zu können“.

Van Kempen E, Van Kamp I, Lebret E, Lammers J, Emmen H, Stansfeld S. Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study. Environmental Health (2010) 9: 25

Fragestellung:

Der Einfluss von Flug- bzw. Straßenverkehrslärm am Wohn- und Schulort auf die kognitiven Leistungen von Grundschulern im „Neurobehavioral Evaluation System“.

Methode

In dieser Untersuchung wurde eine Gruppe der für das Studienprojekt RANCH (Road Traffic and Aircraft Noise exposure and children`s Cognition and Health) (s. S. 71) untersuchten Kinder analysiert. Analysiert wurden die Daten von 553 Kindern zwischen 9-11 Jahren, die zum Zeitpunkt der Erhebung eine von insgesamt 24 Schulen in der Nähe des Flughafens Amsterdam-Schiphol besuchten.

Genutzt wurde hier unter anderem das sogenannte Neurobehavioral Evaluation System (NES). Der NES besteht aus insgesamt 10 Beurteilungen (allgemeine Reaktionszeit, Schnelligkeit Aufmerksamkeitstest (Block, Arrow, Switch), Fehlerhäufigkeit Aufmerksamkeitstest (Block, Arrow, Switch), Hand-Auge-Koordination, Symbol digit Substitution, Digit Memory Span Test).

Durchführungszeitraum:

Die Geräuschpegel wurden für jeden Teilnehmer aus einer Kombination aus Schul- und Wohnortbelastung in einem niederländischen Lärmmodell für das Jahr 2001 berechnet. Straßenverkehrslärm wurde aus Daten der Jahre 2000-2001 ermittelt.

Confounder:

Die teilnehmenden Schulen wurden gemittelt in Bezug auf Faktoren wie den Sozialstatus am Wohnort und den Migrantenanteil.

Ergebnisse

Die Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung am Schulort und zuhause im NES-Test. Einen Einfluss auf die Testergebnisse hatten die Confounder Bildung der Eltern, Muttersprache und Geschlecht. - In einer Testung zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang von Fluglärmbelastung und Testergebnissen (Fehlerhäufigkeit beim Aufmerksamkeitstest, Switch condition). Eine Beziehung zwischen Straßenverkehrslärm und kognitiven Leistungen im NES zeigte sich ebenfalls in einer Testung (Fehlerhäufigkeit beim Aufmerksamkeitstest, arrow condition) und bei den in der Schule verkehrslärm-belasteten Kindern.

Schlussfolgerung der Autoren

Die sogenannten NES-Testungen bewerten Leistungen, die über die bislang untersuchten in den papierbasierten Testungen hinausgehen (Aufmerksamkeit, Reaktionsschnelligkeit und die Fähigkeit, zwischen versch. Aufgaben zu wechseln). Sie können ergänzend zu papiergestützten Tests eingesetzt werden. In der hier vorliegenden Untersuchung wurde ein Einfluss von Lärmbelastung auf die Testergebnisse bei besonderes schwierigen Aufgaben gefunden.

Basiert auf dieser Untersuchung und vorangehenden Arbeiten schlussfolgern die Autoren, dass einfache Aufgaben weniger anfällig für eine Auswirkung von Lärm auf die Testergebnisse sind als

komplexere Aufgaben. Es ist nicht möglich, definitive Schlussfolgerungen über die Wertigkeit der Lärmexposition in der Schule und am Wohnort und deren Wirkung abzugeben.

Abb. 78 Zusammenhang zwischen Fluglärm und $L_{Aeq, 7-23 \text{ Uhr}}$ in den einzelnen kognitiven Testungen (Van Kempen E., 2010)

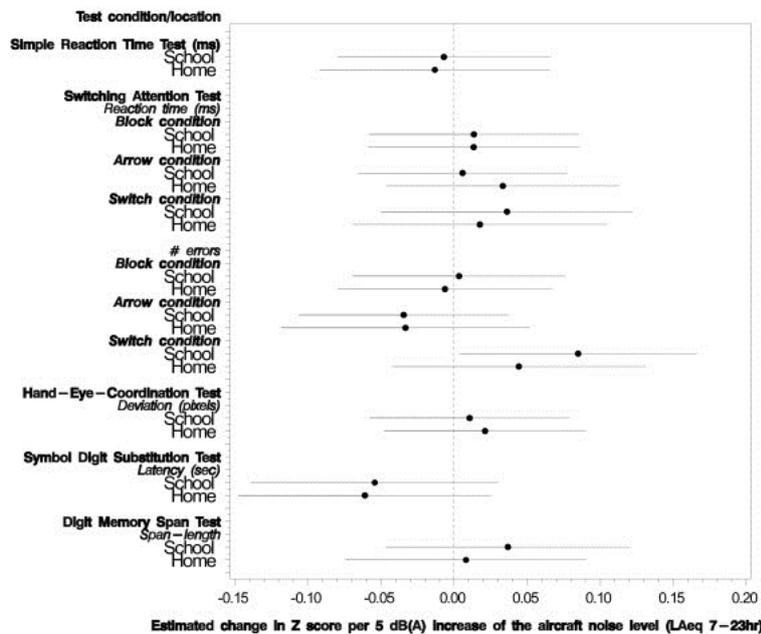
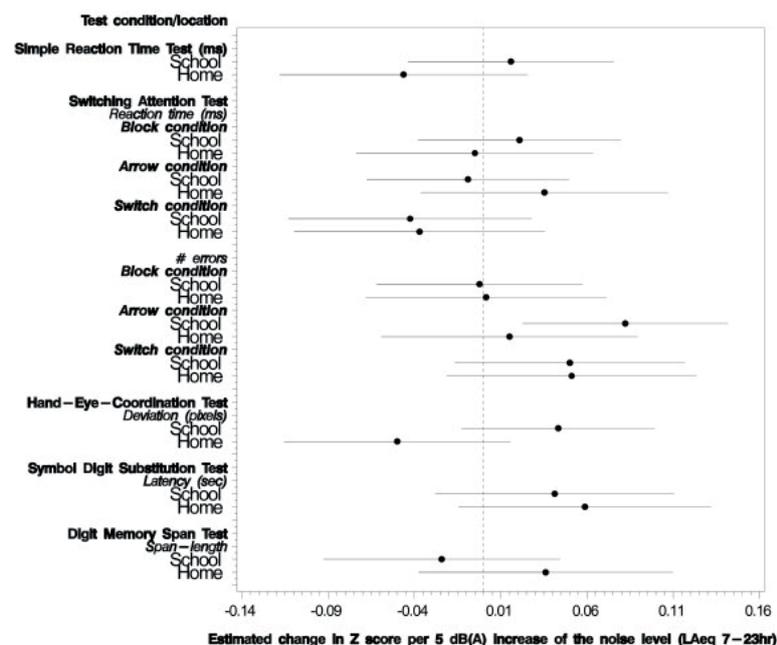


Abb. 79 Einfluss von Straßenverkehrslärm in $L_{Aeq, 7-23 \text{ Uhr}}$ auf die einzelnen kognitiven Testungen (Van Kempen E., 2010)



Van Kempen E, Van Kamp I, Stellato R, Lopez-Barrío I, Haines M, Nilsson M, Clark C, Houthuijs D, Brunekreef B, Berglung B, Stansfeld S. Children's annoyance reactions to aircraft and road traffic noise. J Acoust Soc Am (2009) 125 (2): 895-904.

Fragestellung:

Der Einfluss von Verkehrslärm (Flug- und Straßenverkehrslärm) auf die individuell empfundene Belästigung von Kindern am Wohn- und Schulstandort, Vergleich mit Belästigungsangaben der Eltern.

Methoden:

Im Rahmen der RANCH Studie wurden 2.844 Kinder zwischen 9-11 Jahren untersucht, die eine von 89 teilnehmenden Schulen im Umkreis dreier großer Verkehrsflughäfen (London, Amsterdam, Madrid) besuchten. Für die Schulen wurde der äquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{Aeq, 7-23h}$ bestimmt.

Die Kinder beantworteten in einem Fragebogen selbst Fragen zur individuell empfundenen Belästigung durch Fluglärm. Auch die Eltern machen Angaben zur Belästigung durch Verkehrslärm.

Durchführungszeitraum:

Die Fluglärm-Geräuschemessungen für Großbritannien wurden erhoben zwischen Juli und September 1999. Die Straßenverkehrsgeräusche wurden berechnet anhand der Nähe zu Hauptverkehrsstrassen. In Spanien wurde Fluglärm erhoben zwischen Juli und September 2000. Der Straßenverkehrslärm wurde durch Messungen an der Schule hochgerechnet. In den Niederlanden wurden sowohl Fluglärm als auch Straßenverkehrslärm durch Lärmmodelle erhoben mit Daten aus Messungen zwischen 10/1999 und 11/2000.

Die Befragungen fanden zwischen 2003 und 2006 statt.

Confounder:

Die teilnehmenden Schulen wurden in Bezug auf Sozialstatus, Anzahl der Schüler und Migrantenanteil beurteilt und entsprechend gemittelt.

Ergebnisse und Schlussfolgerung der Autoren:

Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Exposition zu Fluglärm ($L_{Aeq, 7-23 Uhr}$) und starker Belästigung durch Fluglärm bei den Kindern.

Für den Schulstandort stieg der Anteil "sehr belästigter" Kinder von 5% bei 50 dB auf 12% bei 60 dB. Für den Wohnort stieg der prozentuale Anteil „sehr belästigter“ Kinder von 7% bei 50 dB auf 15% bei 60 dB. Dieses zeigte sich sowohl in der Gesamtgruppe als auch Länder-spezifisch.

Die Belästigung durch Fluglärm von Kindern kann zuverlässig durch Fragebögen evaluiert werden. Expositions-Wirkungskurven für Flug- und Straßenverkehrslärm und Belästigung wurden erhoben. Die Expositions-Wirkungsbeziehungen (Fluglärm, Belästigung) von Eltern und Kindern waren ähnlich ausgeprägt. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Kinder bei Lärmbereichen >55 dB weniger belästigt waren durch Lärm.

Abb. 80 Anteil der stark durch Fluglärm an der Schule (links) und an der Wohnung (rechts) belästigter Kinder in verschiedenen Ländern, Fluglärm in $L_{Aeq7-23}$ Uhr (van Kempen et al., 2009)

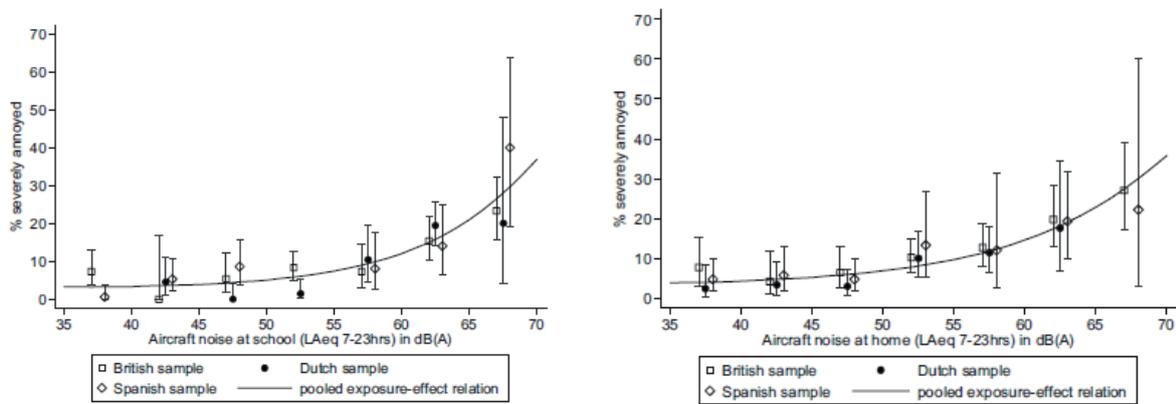


Abb. 81 Anteil stark durch Straßenverkehrslärm belästigter Kinder in der Schule in verschiedenen Ländern, Straßenverkehrslärm in $L_{Aeq7-23}$ Uhr (van Kempen et al., 2009)

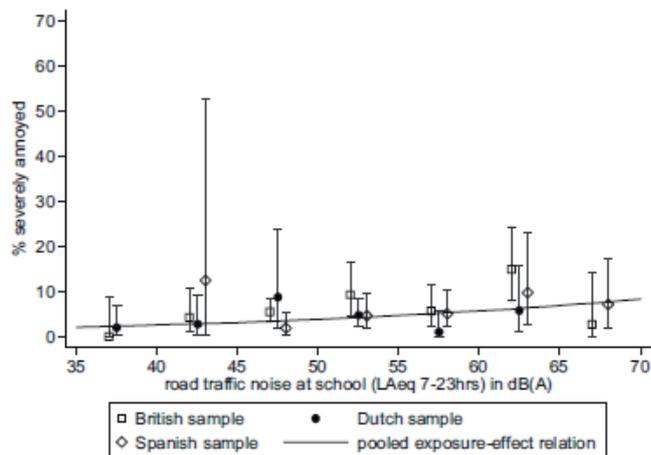
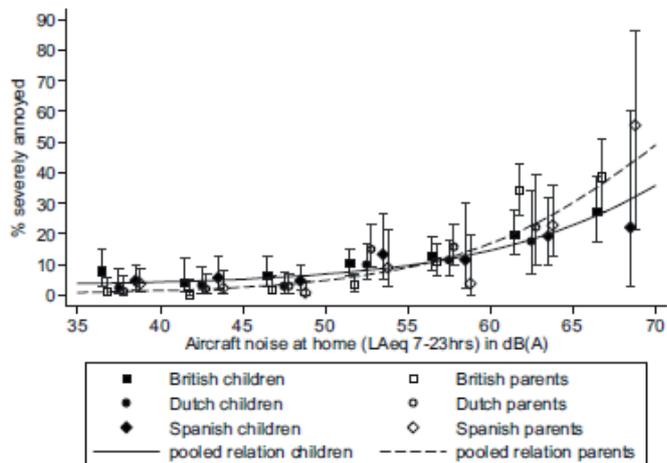


Abb. 82 Vergleich zwischen Eltern und Kindern in Bezug auf den Anteil stark belästigter Personen in verschiedenen Ländern, Fluglärm in $L_{Aeq7-23}$ Uhr (van Kempen et al., 2009)



Van Kempen E, Van Kamp I, Nilsson M, Lammers J, Emmen H, Clark C, Stansfeld S. The role of annoyance in the relation between transportation noise and children's health and cognition. J Acoust Soc Am (2010) 128 (5): 2817-28

Fragestellung:

Beeinflusst die individuell empfundene Belästigung durch Verkehrslärm (Straßen und Flug) am Schulort die kognitive Funktion und die Gesundheit von Kindern unabhängig?

Methoden:

Im Rahmen der RANCH Studie (s. auch S. 71) wurden 2.844 Kinder zwischen 9-11 Jahren untersucht, die eine von 89 teilnehmenden Schulen im Umkreis dreier großer Verkehrsflughäfen (London, Amsterdam, Madrid) besuchten. Für die Schulen wurde der äquivalente Dauerschall-druckpegel $L_{AEQ\ 7-23h}$ bestimmt.

Die Kinder beantworteten in einem Fragebogen selbst Fragen zu ihrem Gesundheitszustand und zur individuell empfundenen Belästigung durch Fluglärm. Desweiteren wurden sie in einem Computer-basierten Test (Neurobehavioral Evaluation System, NES) auf Reaktionsschnelligkeit und Konzentrationsfähigkeit getestet. Der NES besteht aus insgesamt 10 Beurteilungen (allgemeine Reaktionszeit, Schnelligkeit Aufmerksamkeitstest (Block, Arrow, Switch), Fehlerhäufigkeit Aufmerksamkeitstest (Block, Arrow, Switch), Hand-Auge-Koordination, Symbol Digt Substitution, Digit Memory Span Test). Der Zusammenhang zu Fluglärmbelastung und Belästigung durch Fluglärm sollte hier untersucht werden.

Desweiteren wurden die Kinder im sogenannten Children`s Memory Scale (CMS) eingeschätzt in Bezug auf ihr Wort-, Satz- und Textverständnis und die Erinnerungsfähigkeit. Dieses Testverfahren ist nicht Inhalt dieser Publikation.

Bei einigen Kindern wurden desweiteren Blutdruckmessungen durchgeführt, um Effekte der Lärmbelastung und der Belästigung durch Lärm auf den Blutdruck untersuchen zu können.

Durchführungszeitraum:

Die Fluglärm-Geräuschmessungen für Großbritannien wurden zwischen Juli und September 1999 erhoben. Die Straßenverkehrsgeräusche wurden anhand der Nähe zu Hauptverkehrsstrassen berechnet. In Spanien wurde Fluglärm zwischen Juli und September 2000 erhoben. Der Straßenverkehrslärm wurde durch Messungen in der Schule hochgerechnet. In den Niederlanden wurden sowohl Fluglärm als auch Straßenverkehrslärm durch Lärmmodelle mit Daten aus Messungen zwischen 10/1999 und 11/2000 erhoben.

Die kognitiven Testungen wurden 2002 in Großbritannien durchgeführt.

Confounder:

Die teilnehmenden Schulen wurden in Bezug auf Sozialstatus, Anzahl der Schüler und Migranten-anteil beurteilt und entsprechend gemittelt.

Es wurden Fragebögen von Kindern und Eltern ausgefüllt in Bezug auf den Sozialstatus, Gesundheit, Schlafqualität und Belästigung durch Fluglärm.

Ergebnisse:

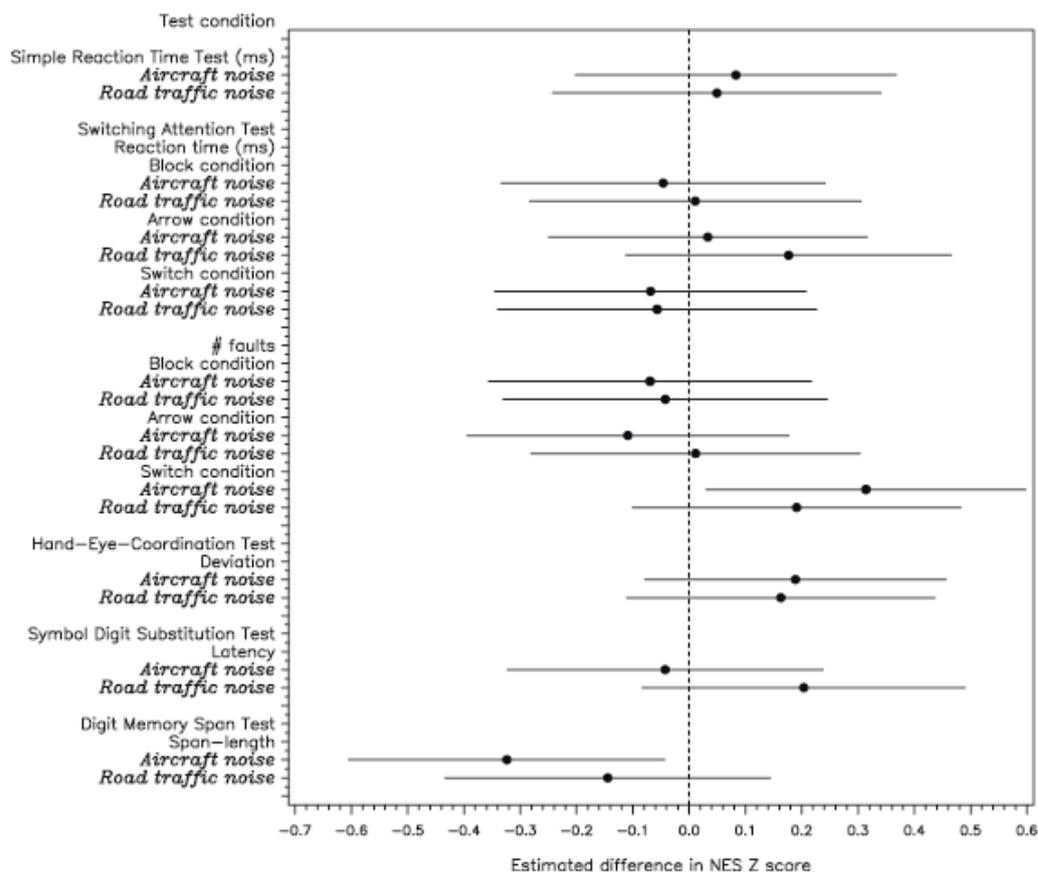
In einer multivariaten Analyse zeigte sich, dass die Belastung durch Fluglärm in der Schule keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten von gesundheitlichen Beeinträchtigungen/Angabe

von Symptomen hatte sowohl in der Gesamtpopulation als auch länderspezifisch ausgewertet. Das gleiche gilt auch für die Exposition durch Straßenverkehrslärm. Auch wenn die Angaben über das individuelle Empfinden von Lärmbelastigung mit einberechnet wurden, zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang.

Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der individuell empfundenen Belästigung durch Lärm (Flug- und Straßenverkehr) und den angegebenen **Symptomen**: Kinder, die angaben, durch Lärm belästigt zu sein, klagten über mehr Symptome als jene, die nicht subjektiv belästigt waren. Kinder mit hoher Belästigung durch Lärm hatten einen signifikant niedrigeren diastolischen Blutdruck.

In dem Computer-basierten Aufmerksamkeitstest zeigten sich signifikante Zusammenhänge nur in zwei eher komplexen der insgesamt 10 Testeinheiten. Die Fehlerhäufigkeit im Aufmerksamkeitstest (Switch Condition) war signifikant erhöht bei Kindern, die stark belästigt waren (durch Flug- und Straßenverkehrslärm). Außerdem war die Weite des sogenannten Digit Memory Span Test bei den individuell belästigten Kindern deutlich kürzer. Auch das Gesamtergebnis zeigte keine Beeinflussung durch Fluglärm oder Belästigung.

Abb. 83 Zusammenhang zwischen der Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm und den im NES untersuchten Testverfahren (van Kempen et al., 2010)



Untersucht wurde, ob in einer multivariaten Analyse die Beeinflussung des Gesundheitszustandes und der kognitiven Testungen durch Lärm von der individuellen Belästigung verändert wird. Das bedeutet: Ist die individuell empfundene Belästigung durch Lärm womöglich ein Confounder? In dieser Untersuchung konnte diese These nicht bestätigt werden. Der Zusammenhang zwischen Lärmexposition, Gesundheitszustand, Blutdruck und den in dieser Studie durchgeführten Testungen blieb nahezu konstant, auch wenn die individuelle Lärmbelästigung mit einberechnet wurde.

Schlussfolgerung der Autoren:

Diese Untersuchung zeigt wie die anderen Teilstudien des RANCH Studienprojektes keinen direkten Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitszustand bei Kindern. Es konnte jedoch ein Zusammenhang zwischen individuell empfundener Lärmbelästigung und Gesundheitszustand bzw. kognitiven Leistungen gezeigt werden. Es ist zu diskutieren, ob die individuelle Belästigung der Auslöser für Gesundheitsbeeinträchtigungen etc. ist.

Verzeichnis zusätzlicher Literaturstellen

	Publikationsjahr, Zeitschrift	Autoren	Inhalt
Allgemein	2016, Nature	Ragettli et al.	Erhebung von nationalen Lärmmodellen, Regressionsmodellen zu Straßen-, Schienen- und Fluglärm in Kanada. Es wurden keine Lärmwirkungen erhoben.
Annoyance	2016, Environ Res and Public Health	Ragettli et al.	Expositions-Wirkungsbeziehung Lärm und Belästigung in Kanada. Lärmmessungen fanden nicht Quellen-spezifisch statt.
Herz-Kreislauf-Erkrankung	2015, Noise and Health	Meline et al.	Teilnehmer der sog. RECORD Studie, Zusammenhang zwischen Lärmbelastung allgemein am Ort der Wohnung, dem Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft und dem Blutdruck. Es wurden keine Fluglärm-spezifischen Daten erhoben.
Herz-Kreislauf-Erkrankung	2013, Therapeutische Umschau	Rööslil	Darstellung der aktuellen Literatur zum Thema, keine neuen Daten.
Herz-Kreislauf-Erkrankung	2015, Environmental Research	Vienneau et al.	Meta-Analyse von Daten über Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Verkehrslärm und ischämischer Herzerkrankung. Keine neuen Daten, keine spezifische Analyse von Fluglärm.
Kognitive Funktion	2012, Int J Hyg Environ Health	Trimmel et al.	Einfluss von Lärm (Nachbarschaftslärm, Fluglärm) auf die kognitive Funktion und die Sympathikus-Aktivität. Laborstudie: nur akute Effekte, keine chron. Effekte.
Kognitive Funktion	2014, Int J Environ Res Public Health	Trimmel et al.	Beeinflussung der kognitiven Funktion durch Umweltlärm. Keine Fluglärm-spezifische Datenerhebung.
Kognitive Funktion	2015, Int J Hyg Environ Health	Vienneau et al.	“Years of Life Lost” und Morbidität im Zusammenhang mit Verkehrslärm (D _{den}) und Feinstaubbelastung (PM ₁₀), Sekundärdaten-basierte Untersuchung in der Schweiz, Burden of disease 2010. Nur Analyse Verkehrslärm allgemein, nicht Fluglärm-spezifisch.

2011, SLEEP	Basner et al.	Zusammenhang zwischen der Schlafqualität und der Belastung durch Straßen-, Schienen- und Fluglärm. Polysomnographische Untersuchungen ausschließlich unter Laborbedingungen.
2012, Science of the total Environment	Elmenhorst et al.	Einfluss von Schienen- und Fluglärm auf die Schlafqualität. Polysomnographische Untersuchungen. Studie der Fluglärmdata bereits zuvor publiziert (Basner et al., 2006).
2014, Osang Publid Health Res Perspect	Soo Jeong Kim et al.	Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Fluglärm und Schlafqualität bei Anwohnern eines Militärlughafens in Korea (kein Verkehrsflughafen)
2009, Noise and Health	Breimhorst et al.	Einfluss von Straßen-, Schienen- und Fluglärm auf die Schlafqualität und die kognitive Funktion am Morgen. Polysomnographie. Laborbedingungen.
2014, Noise and Health	Röösli et al.	Fragebogenerhebung 2008 in der Schweiz: Unterschiede der Schlafqualität durch das Geschlecht. Betrachtung des Parameters Verkehrslärm, nicht Quellen-spezifisch.
2013, Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine	Pujol et al.	Zusammenhang zwischen Lärmexposition und Schulleistungen bei französischen Schulkindern, nicht Quellen-spezifisch.
2013, Frontiers in Psychology	Klatte et al.	Effekte von Lärm (allgemein) auf die kognitive Funktion, Review
2015, Environmental Research	Dreger et al.	Expositions-Wirkungsbeziehung der Lärmbelastung (abgeschätzt durch Lärmbelastigung der Eltern) und der mentalen Gesundheit der Kinder (1.-4. Klasse), Längsschnittuntersuchung, nicht Fluglärm-spezifisch, keine Lärmmessungen

Das Verzeichnis beinhaltet Literaturstellen, die auf ihre Relevanz für den hier vorliegenden Bericht überprüft wurden. Studien oder Erhebungen wurden nicht in die Detailbeschreibungen aufgenommen, wenn z.B. keine Aussagen zu Fluglärm im besonderen daraus hervorgingen. Desweiteren wurden Laborstudien nicht aufgenommen oder Studien zu arbeitsmedizinisch relevanter Lärmbelastung.

Tab. 62 Übersicht der seit 2008 veröffentlichten Reviews zum Thema Fluglärmwirkungen

	Publikationsjahr, Zeitschrift	Autoren	Inhalt
Allgemeines	2008, Deutsch Ärzteblatt	Kaltenbach et al.	Selektive Literaturrecherche epidemiologischer Studien zu Fluglärm 2000-2007 in Bezug auf Erkrankungen, Belästigung und Kognition
	2015, Internoise 2015	Gjestland et al.	Literaturrecherche zum Thema Belästigung und Fluglärm, Unterscheidung High-Rate Change (HRC) und Low Rate Change (LRC) Flughäfen
Schlaf	2010, Noise and Health	Basner et al.	<i>Aircraft noise on sleep: mechanisms, mitigation and research needs</i> Fluglärm und Schlaf, gesetzl. Richtlinien.
	2010, Noise and Health	Hume	<i>Sleep disturbance due to noise: Current issues and future research</i>
	2010, Noise and Health	Finegold	<i>Sleep disturbance due to aircraft noise exposure</i>
	2010, Noise and Health	Fidell et al.	<i>The state of the art of predicting noise-induced sleep disturbance in field settings.</i>
	2012, Noise and Health	Perron et al.	<i>Review of the effect of aircraft noise on sleep disturbance in adults</i>
	2009, Noise and Health	Babisch et al.	Expositions-Wirkungsbeziehungen Fluglärm und Bluthochdruck, Burden of disease Abschätzung
	2011, Noise and Health	Stansfeld et al.	<i>Cardiovascular effects of environmental noise: Research in the United Kingdom</i>
	2011, Noise and Health	Maschke	<i>Cardiovascular effects of environmental noise: Research in Germany</i>
Herzkreislauf	2011, Noise and Health	Van Kempen	<i>Cardiovascular effects of environmental noise: rsearch in The Netherlands</i>
	2011, Noise and Health	Bluhm et al.	<i>Cardiovascular effects of environmental noise: Research in Sweden.</i>
	2011, Noise and Health	Babisch	<i>Cardiovascular effects of noise</i>
	2015, Noise and Health	Di Huang et al.	Meta-Analyse, Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und em Auftreten von Bluthochdruck
	2011, Environment International	Paunovic et al.	Flug- und Straßenverkehrslärm: Effekte auf den Blutdruck bei Kindern, 8 Studien (1980-2006)
Kinder	2015, Curr Envir Health Rpt	Stansfeld et al.	<i>Health effects of noise exposure in children</i>

Glossar

Äquivalenter Dauerschallpegel (L_{Aeq})

Der energieäquivalente Dauerschallpegel ist ein Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung in einem definierten Zeitraum. Er setzt sich zusammen aus Häufigkeit, Dauer und Höhe der einzelnen Schallereignisse. Die Maßeinheit ist Dezibel. Er wird zum Teil auch als Mittelungspegel bezeichnet (Babisch, Handbuch der Umweltmedizin, VII - 1, Lärm, 2014).

Confounder

Unter einem Confounder (engl. für: ‚Störfaktor‘, von lateinisch confundere: verwechseln, vermischen, zusammengießen) versteht man innerhalb von epidemiologischen Studien einen Störfaktor, der mit zwei Faktoren der Beobachtung, nämlich der Exposition sowie dem Endpunkt, in Beziehung steht. Ein Confounder ist eine Variable, die das Auftreten eines Risikofaktors und den beobachteten Endpunkt gleichzeitig mitbestimmt.

Die beobachtete Exposition ist nicht die alleinige Ursache für die beobachtete Wirkung – sie wird zumindest teilweise von einem Confounder hervorgerufen.

Dezibel (dB)

Dezibel ist die Maßeinheit für den Schalldruckpegel, auch Schallpegel. Dieser beschreibt die Lautstärke. Das menschliche Gehör kann einen Bereich von 0 dB bis 120 dB verarbeiten. Bei einem Schallpegel von ca. 125 dB beginnt der Schmerzbereich.

Korrelationskoeffizient, -analyse

Der Korrelationskoeffizient ist ein Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen mindestens 2 Merkmalen. Er kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Bei einem Wert von $+1$ (bzw. -1) besteht ein vollständig positiver (bzw. negativer) linearer Zusammenhang. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert 0 aufweist, hängen die beiden Merkmale überhaupt nicht linear voneinander ab. Allerdings können diese ungeachtet dessen in nichtlinearer Weise voneinander abhängen. Damit ist der Korrelationskoeffizient kein geeignetes Maß für die Abhängigkeit von Merkmalen.

Ein Korrelationskoeffizient > 0 bei positiver Korrelation bzw. < 0 bei negativer Korrelation zwischen x und y berechtigt nicht unbedingt zur Aussage, es bestehe ein statistischer Zusammenhang zwischen x und y . Eine solche Aussage ist nur gültig, wenn der ermittelte Korrelationskoeffizient signifikant ist. Der Begriff „signifikant“ bedeutet hier „signifikant von Null verschieden“. Je höher die Anzahl der Wertepaare (x , y) und das Signifikanzniveau sind, desto niedriger darf der Absolutbetrag eines Korrelationskoeffizienten sein, um zur Aussage zu berechtigen, zwischen x und y gebe es einen linearen Zusammenhang. Ein t-Test zeigt, ob die Abweichung des ermittelten Korrelationskoeffizienten von Null auch signifikant ist.

Odds Ratio

Die Odds Ratio (Quotenverhältnis) ist ein Maß dafür, um wie viel größer die Chance in der Gruppe mit Risikofaktor ist, zu erkranken (im Sinne einer Quote), verglichen mit der Chance in der Gruppe ohne Risikofaktor. Das Quotenverhältnis nimmt Werte zwischen 0 und ∞ an. Ein Wert von 1 bedeutet ein gleiches Quotenverhältnis, d.h. kein Unterschied im Risiko oder der Chance.

Typischerweise vergleicht man dabei Personen mit einem potentiellen Risikofaktor für eine Erkrankung mit Personen ohne diesen Risikofaktor bzgl. des Auftretens ebenjener Erkrankung. Die

gewonnenen Daten werden in einer Kreuztabelle dargestellt, die es auch leicht macht, die Odds Ratio direkt zu errechnen:

Berechnet wird es folgendermaßen:

Anzahl der Personen	mit Risikofaktor	ohne Risikofaktor
erkrankt	a	b
nicht erkrankt	c	d

$$\text{Odds ratio} = a * d / c * b$$

Lärmbelästigung

Die Lärmbelästigung wird meist mit einem standardisierten Befragungsinventar erhoben. Die Frage lautet: "Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate denken, wie stark haben Sie sich durch Lärm insgesamt gestört gefühlt?" Die Beantwortung erfolgt anhand einer 5-stufigen Skala. Die beiden höchsten Stufen werden meist der Kategorie „stark belästigt“, „highly annoyed“ (HA) zugeordnet.

L_{DEN}

Gemittelter Schalldruckpegel über 24 h, D=day, E=evening, N=night)

L_{night}

Gemittelter Schalldruckpegel in der Nacht, oft 23-7 Uhr

Meta-Analyse

Eine Meta-Analyse ist die statistische Zusammenfassung von anderen sogenannten „Primär“-Daten aus anderen Studien.

p-Wert

Der p -Wert ist eine Wahrscheinlichkeit und nimmt daher Werte zwischen Null und Eins an. Er deutet an, wie wahrscheinlich es ist, ein solches Stichprobenergebnis oder ein extremeres zu erhalten, wenn die sogenannte Nullhypothese wahr ist. Die Nullhypothese ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwischen Merkmalen kein Zusammenhang besteht. Mit dem p -Wert wird also angedeutet, wie extrem das Ergebnis ist: je kleiner der p -Wert, desto mehr spricht das Ergebnis gegen die Nullhypothese. Es haben sich festgesetzte Grenzen etabliert, wie 5 %, 1 % oder 0,1 %, die verwendet werden, um Entscheidungen zu treffen, ob die Nullhypothese abgelehnt werden kann. Wenn die Nullhypothese verworfen wird, wird das Resultat als statistisch signifikant bezeichnet. Signifikant bedeutet hierbei lediglich überzufällig. Die Größe des p -Werts gibt keine Aussage über die Größe des wahren Effekts.

Signifikant, Signifikanzniveau

Unterschiede zwischen Variablen werden als signifikant bezeichnet, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass sie durch Zufall derart zustande kommen würden, eine zuvor festgelegte Schwelle nicht überschreitet und deshalb ein überzufälliger Zusammenhang angenommen wird.

Überprüft wird Signifikanz durch statistische Tests, die so gewählt werden müssen, dass sie dem Datenmaterial und den zu testenden Parametern bezüglich der Wahrscheinlichkeitsfunktion entsprechen. Nur dann ist die mathematisch korrekte Abschätzung des Überschreitens einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit anhand des p-Werts möglich. Vor der Durchführung des eigentlichen Tests muss abhängig von der Bedeutung der untersuchten Fragestellung das Gewicht bemessen werden für den Fall, dass irrtümlich angenommen wird, der geprüfte Zusammenhang sei nur zufällig. Danach wird der kritische Wert für die Schwellenhöhe festgelegt, die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit, beispielsweise auf 5 %. Diese Wahrscheinlichkeit wird als

Signifikanzniveau α bezeichnet. So bedeutet $\alpha = 0,05$: Falls die Nullhypothese richtig ist, darf die Wahrscheinlichkeit dafür, dass diese anhand des Testergebnisses abgelehnt wird (sogenannter Fehler 1. Art), nicht mehr als 5 % betragen. Entsprechend beträgt die Wahrscheinlichkeit, eine richtige Nullhypothese aufgrund des Tests nicht abzulehnen, $1 - \alpha = 0,95$, mindestens 95 %.

Aus einem statistisch nicht signifikanten Unterschied kann man keine definitiven Schlüsse ziehen.

Allgemeiner verstanden beschreibt statistische Signifikanz den möglichen Informationsgehalt eines Ereignisses. Je kleiner das Signifikanzniveau ist, desto höher ist dann die Informationsqualität. Im Allgemeinen wird wenigstens ein Signifikanzniveau von 5% gewählt (0,05).

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Empfohlene „Guideline values“ der WHO für Lärm in speziellen Umweltbereichen (aus Babisch, Lärmwirkungen bei Kindern und Erwachsenen) (Babisch 2003).....	7
Tab. 2 NORAH Studie Lineare Risikoänderung pro 10 dB L_{Aeq24h} Schallpegelzunahme für Herz-Kreislaufkrankungen (Seidler et al., 2015)).....	21
Tab. 3 Krankenhausaufnahme und Mortalität an Herzkreislauf-Erkrankungen, Koronarer Herzerkrankung und Schlaganfall bei hoher und niedriger Fluglärmbelastung im Umfeld des Flughafens London Heathrow (Relatives Risiko) (Hansell et al., 2013).....	22
Tab. 4 Länderbezogener Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von Blutdruckmedikamenten und Fluglärm, angegeben sind OR bezogen auf eine Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dBA (Floud et al., 2011).....	27
Tab. 5 Zusammenhang zwischen Medikamentenverbrauch in allen teilnehmenden Ländern und dem Gesamtverkehrslärm. Angegeben sind OR bezogen auf eine Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dBA (Floud et al., 2011)).....	28
Tab. 6 NORAH-Studie Lineare Risikoänderung pro 10 dB-Schallpegelzunahme (Leq 24 Stunden) für Brustkrebs und für depressive Episoden (Seidler et al., 2015).....	29
Tab. 7 Objektiv gemessene Schlafqualität bei Anwohnern des Frankfurter Flughafens (2011 und 2012) und des Köln/Bonner Flughafens (2001) (Müller et al., 2015).....	38
Tab. 8 RANCH-Studie – Kinder - Zusammenhangsanalysen zwischen verschiedenen kognitiven Leistungen bei Kindern und Fluglärmbelastung (Stansfeld et al., 2005).....	48
Tab. 9 Veröffentlichungen der HYENA Studie, erhoben 2003-2005.....	55
Tab. 10 Verkehrslärmbelastung / Belästigung und Lebensqualität: Mittel-, Minimal- und Maximalpegel zu verschiedenen Tageszeiten sowie Teilnehmer in den 4 Studienregionen (NORAH Modul 1).....	59
Tab. 11 Durchführung der Schlafstudie (NORAH Modul 2).....	62
Tab. 12 RANCH-Studie – Kinder - Teilnehmer, Basisdaten zum familiären Hintergrund, zur Lärmbelastung und zur Fensterausstattung der Schulen (Stansfeld et al. 2005).....	71
Tab. 13 Veröffentlichungen und Berichte RANCH Studienprojekt.....	73
Tab. 14 Zusammenhang zwischen einer Zunahme des Fluglärms um 10 dB und der Belästigung und dem Auftreten von Bluthochdruck, Odds Ratio (Babisch et al., 2013).....	79
Tab. 15 Mittelwerte der Faktoren Depression und Angst in Abhängigkeit von der individuell empfundenen Belästigung (Beutel et al., 2016).....	84
Tab. 16 Zusammenhang (OR) zwischen individueller Lärmbelästigung und Depression bzw. Angst (Beutel et al., 2016).....	84
Tab. 17 Effekte von Fluglärm auf die Gesundheit per allg. Regressionsmodell und per fixiertem Effekt Modell (Boes et al. 2013).....	86
Tab. 18 Multivariate Analyse über den Einfluß von Straßen- und Fluglärm (Schule) auf die kognitive Leistung von Grundschulkindern (UK, RANCH, 2001-2003) (Clark et al., 2012).....	89

Tab. 19 Multivariate Analyse über den Einfluß von Luftverschmutzung am Schulstandort auf die kognitive Leistung von Grundschulern (Clark et al., 2012).....	90
Tab. 20 Multivariate Analyse über den Einfluß von Verkehrslärm und Luftverschmutzung (Schule) auf die Gesundheit von Grundschulkindern (Clark et al., 2012).....	91
Tab. 21 Die multivariate Regressionsanalyse zeigt die Odds Ratios für eine Zunahme von 1 dB Geräuschbelastung beim Follow-up (Clark et al., 2013)	93
Tab. 22 Geschätzter Einfluss der Parameter Fluglärm, Straßenverkehrslärm und Frühgeburtlichkeit auf die mentale Gesundheit wie erhoben im SDQ Fragebogen (Crombie et al., 2011).....	98
Tab. 23 Zusammenhang zwischen Fluglärm-Exposition und Body-Mass-Index BMI bzw. Bauchumfang zwischen Erstuntersuchung und Follow-up (Eriksson et al., 2014) (*signifikant)	107
Tab. 24 Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und Inzidenz von Prädiabetes, Typ 2 Diabetes mellitus und der Kombination aus Prädiabetes und Typ 2 Diabetes (alle nicht sig.) (Eriksson et al., 2014)	107
Tab. 25 Effekte der Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dB auf den Bluthochdruck und den systolischen und diastolischen Blutdruck bei Männern (Evrard et al., 2016)	109
Tab. 26 Adjustierte Mortalitäts Odds Ratio für Modelle ohne Luftbelastungsparameter (Mortalität per 10 dB Ansteigen des L _{den}) (Evrard et al. 2015).....	112
Tab. 27 Analyse der Subgruppen: Zusammenhang zwischen Fluglärm und Herz-Kreislauferkrankungen adjustiert für Luftverschmutzung (Floud et al., 2013).....	114
Tab. 28 Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von Blutdruckmedikamenten und der Zunahme der Fluglärm-Belastung um 10 dB in verschiedenen Ländern (HYENA) (Floud et al., 2011)...	116
Tab. 29 Zusammenhang zwischen dem Verbrauch verschiedener Medikamente und der Lärmbelastung durch verschiedene Lärmquellen (Straßen- und Fluglärm, Tag/Nacht, 24h) in allen 6 Ländern, die an der HYENA-Untersuchung teilgenommen haben (Floud et al., 2011)	116
Tab. 30 Flugpassagiere, Flugbewegungen und Community Tolerance Level (CTL Werte) für fünf norwegische Flughäfen (Gjestland et al., 2016)	120
Tab. 31 Untersuchung zur Belästigung durch Fluglärm im Umfeld von Flughäfen und Straßen - Eingeschlossene Teilnehmer sowie Lärmpegel im Umfeld der Flughäfen (Gjestland et al., 2015)	122
Tab. 32 Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen Geräuschbelastung und dem Ausbleiben nächtlicher Blutdruckabsenkungen (Haralabidis et al., 2011)	127
Tab. 33 Wirkung verschiedener Geräusche und Geräuschspitzen auf den systolischen und diastolischen Blutdruck und den Puls (Flug- und Straßenverkehr sowie Innenraumquellen) (Haralabidis A, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L 2008)	129
Tab. 34 Teilnehmer der Erhebung mit Lärmbereich (Holt et al., 2015).....	130
Tab. 35 Adjustierte Odds Ratios für die Wahrscheinlichkeit von unzureichendem Schlaf und Erholung in den vergangenen 30 Tagen und β -Koeffizienten für die Tage mit unzureichendem Schlaf oder Erholung assoziiert mit der Fluglärmexposition (Holt et al., 2015)	130

Tabellenverzeichnis

Tab. 36 Risiko für Todesfall durch Herzinfarkt, alle kardiovaskuläre Erkrankungen, Lungenkrebs und Schlaganfall (* signifikant) (Huss et al., 2010).....	133
Tab. 37 Expositions-Wirkungsbeziehung, Odds Ratio von Bluthochdruck bei Zunahme der Lärmbelastung um jeweils 10 dB an der Wohnung (Jarup et al., 2008).....	136
Tab. 38 NORAH Testverfahren kognitive Fähigkeiten (Klatte et al., 2014)	137
Tab. 39 Mehrebenen-Regressionsanalyse (aus Klatte et al., DAGA 2015), markiert: signifikant	139
Tab. 40 Analyse des Parameters Fluglärmbelastung auf die Testergebnisse Wortverständnis, Satzverständnis und Textverständnis (nicht adjustiert, teil-adjustiert und voll adjustiert) bei allen Teilnehmern und in Subgruppen nach Migrationshintergrund (Klatte et al., 2016).....	142
Tab. 41 Schätzungen der Eltern für die Fluglärmwirkung im häuslichen Umfeld auf das kindliche Wohlbefinden (Klatte et al., 2016)	142
Tab. 42 Schätzungen der Kinder für die Fluglärmwirkung in der Schule auf ihr Wohlbefinden und Belästigung (Klatte et al., 2016).....	143
Tab. 43 Schlaflosigkeit/Schlafstörungen und Tagesmüdigkeit in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung und bei Kontroll-Personen (Kwak et al, 2016)	147
Tab. 44 Multiple logistische Regression (OR) für Schlaflosigkeit und Tagesmüdigkeit in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung (Kwak et al., 2016)	148
Tab. 45 Fluglärmbelastungsdaten Frankfurt 2011 bis 2013 im Vergleich mit Köln/Bonn 2001/2002 (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015).....	152
Tab. 46 Daten zur Schlafqualität Frankfurt 2011 bis 2013 im Vergleich mit Köln/Bonn 2001/2002 (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015).....	153
Tab. 47 Befragung der Teilnehmer im Umfeld des Flughafens Frankfurt nach subjektivem Empfinden der letzten Nacht (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015).....	153
Tab. 48 Effekte nächtlicher Fluglärmbelastung auf die Schlafqualität und Laborparameter der Teilnehmer (Schmidt et al., 2015).....	164
Tab. 49 Korrelation zwischen Lärmsensitivität, Belästigung und Lärmbelastung (Schreckenberget al. 2010).....	172
Tab. 50 Zusammenhang (OR) zwischen Fluglärm, Belästigung und Geräuschsensitivität zu mehreren Gesundheitsvariablen für Schlafqualität LAeq 22-6 Uhr, alle anderen Variablen LAeq 6-22 Uhr (Schreckenberget al., 2010)	175
Tab. 51 Übersicht über mittlere und maximale Schalldruckpegel in Phase 1 und 2/3 (Seabi J. 2013)	180
Tab. 52 Belästigung durch Fluglärm in den durch Fluglärm gering und hoch belasteten Schulen (Seabi J. 2013).....	181
Tab. 53 Punktwerte für Leseserwerb in Abhängigkeit von Muttersprache und Fluglärmbelastung (Seabi et al. 2012).....	183

Tab. 54 Effekte der einzelnen Variablen und Interaktion auf den Leseerwerb (Seabi et al. 2012)....	183
Tab. 55 NORAH Studie: Lineare Risikoänderung pro 10 dB L_{Aeq24h} Schallpegelzunahme für Herz-Kreislaufkrankungen sowie Brustkrebs und depressive Episode (Seidler et al., 2015)	185
Tab. 56 Zusammenhang zwischen Verkehrslärm (in L_{Aeq24h}) und der Neuerkrankung an Herzinsuffizienz bzw. Hochdruck-bedingter Herzerkrankung (Seidler et al., 2016)	189
Tab. 57 Lineare Regressionskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Flugverkehrslärm und morgendlichen Cortisolwerten (Selander et al., 2009)	191
Tab. 58 Zusammenhang zwischen Exposition zu Umgebungslärm und dem Auftreten von Non-Hodgkin Lymphomen (Sorensen et al., 2015)	193
Tab. 59 Multivariate Analyse für Flug- und Straßenverkehrslärm und Mentale Gesundheit (Stansfeld et al., 2009) * sign.	195
Tab. 60 Multilevel Analyse für Fluglärmaxposition am Tag und in der Nacht und Leseverständnis (markiert signifikant) (Stansfeld et al., 2010)	198
Tab. 61 Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung, Straßen- und Fluglärm am Schulstandort und kognitiver Funktion (van Kempen et al., 2012)	206
Tab. 62 Übersicht der seit 2008 veröffentlichten Reviews zum Thema Fluglärwirkungen	216

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Belästigung der Bevölkerung in Deutschland durch Umweltlärm (Schack K. 2015)	4
Abb. 2	Lärmwirkungsmodell (Babisch, 2002).....	5
Abb. 3	Expositions-Wirkungsbeziehung für Flug-, Straßen- und Schienenverkehr in %HA (highly annoyed) auf die Lärmbelastung in L (Tag und Nacht) (Miedema HM 1998)	10
Abb. 4	Zusammenhang zwischen Fluglärm und individueller Belästigung in der EU Standardkurve und Länderbezogenen L_{den} (links) und L_{night} (rechts) (Babisch et al., 2009).....	11
Abb. 5	Zusammenhang zwischen Lärmbelastigung (in %HA- hochbelästigt) und gemessenem Schalldruckpegel in mehreren Studien (Schreckenberget al., 2010)	11
Abb. 6	Belästigung durch Fluglärm 2013 im Umfeld der Flughäfen Frankfurt, Köln/Bonn, Berlin-Brandenburg und Stuttgart (rechts); Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens in den Jahren 2005, 2011, 2012 und 2013 (links) (Schreckenberget al., 2015).....	12
Abb. 7	Gesamtbelästigung durch zwei Quellenarten in Abhängigkeit von den Quellenart-spezifischen und dem über zwei Quellenarten (links: Luft und Straße; rechts: Luft und Schiene) energetisch addierten Mittelungspegel (Schreckenberget al., 2016).....	13
Abb. 8	Belästigung durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm 2011-2013 im Umfeld des Flughafens Frankfurt (NORAH) (Schreckenberget al. 2016)	13
Abb. 9	HYENA Studie ORs für Bluthochdruck in Abhängigkeit vom Fluglärm (Tag und Nacht) (Oben); Länder-spezifische OR für Bluthochdruck durch Lärmexposition (Unten) (Jarup et al., 2008)...	18
Abb. 10	Mortalität durch Herzinfarkt in OR in Abhängigkeit von der Wohndauer an Fluglärm-exponierten Orten (Huss et a., 2010)	23
Abb. 11	Anteil hoch durch Luftverkehrsgeräusche schlafgestörter Personen im Raum Frankfurt / Rhein-Main und Vergleichsstädten (Berlin, Köln/Bonn, Stuttgart) 2011, 2013 (Guski R 2015) ..	35
Abb. 12	NORAH Modul 1: Auswirkungen des nächtlichen Fluglärms (22-6 Uhr) auf die selbst berichtete Schlafqualität – Einschlafen, Durchschlafen und Ausschlafen (Schreckenberget al., 2015).....	35
Abb. 13	Fluglärm-assozierte Aufwachwahrscheinlichkeit an den Flughäfen Frankfurt und Köln/Bonn (Müller et al., 2015).....	38
Abb. 14	RANCH-Studie - Fluglärmbelastung an der Schule und Belästigung bei 9-11 Jahre alten Kindern (Stansfeld et al., 2005)	42
Abb. 15	Anteil der stark durch Lärm an der Schule - Fluglärm (links) und Straßenverkehrslärm (rechts) - belästigten Kinder in verschiedenen Ländern (van Kempen et a., 2009)	43
Abb. 16	RANCH-Studie - Kinder - Fluglärmbelastung an der Schule und Leseverständnis (Stansfeld et al., 2005).....	48
Abb. 17	Studienregion Frankfurt, Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ (Guski, 2015)	58
Abb. 18	Teilnehmer der Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ (NORAH Modul 1)	58
Abb. 19	Verteilung der Untersuchungspersonen in der Teilstudie Blutdruckmonitoring im Rhein-Main Gebiet	61

Abb. 20 Testverfahren RANCH (NES Computer - und Papier basiert) (Van Kempen et al., 2010)	70
Abb. 21 Flow-Chart der Teilnehmer RANCH UK im Follow-up (Clark et al., 2013).....	72
Abb. 22 Zusammenhang zwischen Fluglärm (links: L_{den} ; rechts: nachts) und individueller Belästigung in verschiedenen Ländern in den Jahren 2003-2005 im Vergleich mit der EU Standardkurve (Daten aus 1978-1991).....	77
Abb. 23 Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm (L_{den} links; nachts rechts) und individueller Belästigung in verschiedenen Ländern in den Jahren 2003-2005 im Vergleich mit der EU Standardkurve (1978-1991).....	77
Abb. 24 Mittlere Belästigung im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn in Abhängigkeit von der Tageszeit (Bartels et al., 2015).....	81
Abb. 25 Geschätzte prozentuale Zunahme der Krankenhausaufnahmen durch kardiovaskuläre Erkrankungen bei einer um 10 dB zunehmenden Lärm-Belastung; Modell 1 kontrolliert für demographische Daten (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft), Modell 2 für berechneten sozioökonomischen Status, Modell 3 kontrolliert für die Faktoren der Luftverschmutzung (Correia et al., 2013).....	96
Abb. 26 Geschätzte prozentuale Zunahme an (Krankenhaus-)Neuaufnahmen durch Lärmbelastung (low noise, <50 dB; medium noise 50-55 dB; high noise >55 dB) ; Modell 1 kontrolliert für demographische Daten (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft), Modell 2 für berechneten sozioökonomischen Status, Modell 3 kontrolliert für die Faktoren der Luftverschmutzung (Correia et al., 2013).....	96
Abb. 27 Geschätzte prozentuale Zunahme der Krankenhauseinweisungen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen bei 10 dB mehr Lärm; Modell 1 kontrolliert für demographische Daten (Alter, Geschlecht, ethnische Herkunft), Modell 2 für berechneten sozioökonomischen Status, Modell 3 kontrolliert für die Faktoren der Luftverschmutzung (Correia et al., 2013).....	97
Abb. 28 Systolischer Blutdruck bei Männern und Frauen - über 5 dB-Pegelklassen von Luftverkehrsgeräuschen in $L_{Aeq\ 18-6Uhr}$ (Eikmann et al., 2015)	100
Abb. 29 Diastolischer Blutdruck bei Männern und Frauen über 5 dB Pegel-Klassen von Luftverkehrsgeräuschen in $L_{Aeq\ 18-6\ Uhr}$ (Eikmann et al., 2015)	100
Abb. 30 Mittlere Reaktionszeit in der psychomotorischen Vigilanztestung (PVT) in der Laborstudie (links) und der Feldstudie (rechts) (Elmenhorst et al., 2010)	103
Abb. 31 Relatives Risiko für Bluthochdruck im Zusammenhang mit Fluglärmexposition (>50 dB L_{den}) (Eriksson et al., 2010).....	105
Abb. 32 Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärmbelastung und Belästigung von Miedema et al. 2001, gemessene Prozentwerte sind abgebildet als Kreuze (Gille et al. 2016).....	118
Abb. 33 Neue Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärmbelastung und Belästigung, Kreuze markieren die gemessenen Prozentwerte (Gille et al. 2016)	118
Abb. 34 Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen der Belastung durch Fluglärm und der Belästigung an drei Flughäfen in Vietnam - Belästigung erfragt mit einer 5-stufigen (links) und einer 11stufigen (rechts) ICBEN-Skala (Gjestland et al., 2015).....	122

Abb. 35 Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen der Belastung durch Straßenverkehrslärm und der Belästigung in fünf Städten in Vietnam - Belästigung erfragt mit einer 5-stufigen (links) und einer 11stufigen (rechts) ICBEN-Skala (Gjestland et al., 2015)	122
Abb. 36 Zusammenhang zwischen der 24h-Lärmbelastung durch Fluglärm und dem Anteil stark Belästigter (%HA) in verschiedenen Untersuchungen (Guoqing et al., 2012)	123
Abb. 37 Relatives Risiko für den Zusammenhang zwischen Krankenhauseinweisung 2001-2005 und jährlicher Bevölkerungs-gewichteter Lärmbelastung durch Fluglärm (Hansell et al., 2013)	125
Abb. 38 Relatives Risiko für den Zusammenhang zwischen Mortalität 2001-2005 und jährlicher Bevölkerungs-gewichteter Lärmbelastung durch Fluglärm (Hansell et al., 2013).....	125
Abb. 39 Mortalität an Herzinfarkt in Odds Ratio mit Konfidenzintervall in Abhängigkeit von der Wohndauer an Fluglärm-exponierten Orten (Huss et al., 2010)	134
Abb. 40 Studienregion der Teilstudie „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“ (Klatte et al., 2014).....	138
Abb. 41 Expositions-Wirkungskurve „Gesamtleistung Lesetest“: Adjustierte mittlere T- Werte und 95% KI für 5 dB Bänder des Fluglärms an der Schule (Klatte et al., 2014).....	138
Abb. 42 Expositions-Wirkungskurve zwischen Fluglärmbelastung am Schulstandort und adjustiertem globalen Lesetest-Werten der Kinder	142
Abb. 43 Expositions-Wirkungskurve Elternbeurteilung mentales Wohlbefinden: Adjustierte Mittelwerte für 5 dB Bänder des Fluglärms am Wohnort (Klatte et al., 2016).....	143
Abb. 44 Anteil belästigter Personen in Bygdoy durch den angegebenen Faktor mit Konfidenzintervall vor (T1) und nach (T2) dem Umzug (Krog et al. 2010)	146
Abb. 45 Anteil belästigter Personen in Romeriksasen durch den angegebenen Faktor mit Konfidenzintervall vor (T1) und nach (T2) den Umzug (Krog et al. 2010).....	146
Abb. 46 Expositions-Wirkungsbeziehung für Straßenverkehr und „Information recall“ (links) und für „Conceptual recall“ (rechts) adjustiert für Alter, Geschlecht und Zentrum	150
Abb. 47 Expositions-Wirkungsbeziehung für Fluglärm und „Recognition memory“ (Wiedererkennung)	150
Abb. 48 Nächtlicher Verlauf der mittleren Anzahl an Fluglärmereignissen (oben) und Fluglärmassoziierter Aufwachreaktion (unten) in halbstündigen Intervallen pro Proband und Nacht (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015)	154
Abb. 49 Fluglärm-bedingte Aufwachreaktion Frankfurt und Köln/Bonn (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015)	155
Abb. 50 Fluglärmassozierte Wahrscheinlichkeit einer „vegetativ motorischen Reaktion“ (Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. 2015).....	155
Abb. 51 Anzahl täglicher stationärer Aufnahmen wegen kardiovaskulären Erkrankungen im Gebiet der 55 dB Fluglärmbelastung (Pearson T, Campbell MJ, Maheswaran R 2016)	156
Abb. 52 Entfernung zu Lärmquelle Fluglärm (a), Straße (b), Bahn (c) und Schlafstörung (95% Konfidenzintervall) (Perron et al., 2016)	159

Abb. 53 Schlafstörung (95% Konfidenzintervall) durch Umweltlärm (a), Verkehrslärm (b), Straßenlärm (c) in Abhängigkeit von L_{night} (Perron et al., 2016).....	159
Abb. 54 Effekte in der Noise 30 und Noise 60 Gruppe im VBERGELICH zur Kontrolle auf FMD (links) und Adrenalin (rechts) (Schmidt F, Basner M, Kröger G, Weck, Schnorbus B, Muttray A, Sariyar M, Binder H, Gori T, Warnholtz A, Münzel T 2013).....	162
Abb. 55 Effekte der nächtlichen Lärmbelastung auf die „flow-mediated Dilation“ (FMD), y- Achse Mittelwert \pm Standardabweichung ($p < 0,001$) (Schmidt et al., 2015).....	164
Abb. 56 Modellbasierter Anteil hoch fluglärm-belästigter Personen (%HA) im Vergleich, Daten der NORAH Studie 2011-2013 vs. RDF Belästigungsstudie 2005 (Schreckenberger et al., 2010) (Schreckenberger et al., 2015)	166
Abb. 57 Modellbasierter Anteil hoch durch Verkehrsglärm (Luft, Straße, Schiene) belästigte Personen (%HA, highly annoyed) im Rhein/Main-Gebiet (Schreckenberger et al., 2015).....	167
Abb. 58 Belästigung durch Luft- und Straßenverkehr in Abhängigkeit von der Quellendominanz (Schreckenberger D., Faulbaum F., Guski R., Ninke L., Peschel C., Spilski J., Wothge J. 2015).....	167
Abb. 59 Anteil hoch durch Luftverkehrsgeräusche schlaf-gestörter Personen Ffm. Und Vergleichsstädte (Berlin, Köln/Bonn, Stuttgart) 2011, 2013 (Guski et al., 2015)	168
Abb. 60 Belästigten in den Jahren 2011 bis 2013 Lebensqualität bei den "überhaupt nicht" bis "äußerst" Belästigten in den Jahren 2011 bis 2013 (Schreckenberger et al., 2015).....	168
Abb. 61 Psychische Lebensqualität gruppiert nach Fluglärm-belästigung in der Rhein-Main Region (a) und an den Vergleichsflughäfen (b) (Schreckenberger D., Faulbaum F., Guski R., Ninke L., Peschel C., Spilski J., Wothge J. 2015).....	169
Abb. 62 Körperliche Lebensqualität gruppiert nach Fluglärm-belästigung in der Rhein-Main Region (a) und an den Vergleichsflughäfen (b).....	170
Abb. 63 Zusammenhang zwischen Lärmbelästigung (in %HA) und gemessenem Schalldruckpegel in mehreren Studien (Schreckenberger et al., 2010).....	175
Abb. 64 Gesamtlärmbelästigung durch Luft- kombiniert mit Straßenverkehrsgeräuschen (links) und Schieneverkehrsgeräuschen (rechts) in Abhängigkeit von der akustischen Quellendominanz (Schreckenberger et al., 2015)	178
Abb. 65 Gesamtlärmbelästigung durch zwei Quellenarten in Abhängigkeit von den quellenartspezifischen und dem über zwei Quellenarten (links: Luft und Straße; rechts: Luft und Schiene) energetisch addierten Mittelungspegel.....	178
Abb. 66 Individuelle Lärmbelästigung in der Schule (links) und am Wohnort (rechts) in allen drei Untersuchungsphasen (Seabi J. 2013)	181
Abb. 67 Risikoänderung für Herzinfarkt durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schieneverkehrslärm (re) (Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. 2015).....	185
Abb. 68 Risikoänderung für Schlaganfall durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schieneverkehrslärm (re) (Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. 2015).....	186
Abb. 69 Risikoänderung für Herzinsuffizienz durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schieneverkehrslärm (re) (Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. 2015).....	186

Abb. 70 Risikoänderung für Depressive Episoden durch Fluglärm (li.), Straßenverkehrslärm (Mitte) und Schienenlärm (re)	186
Abb. 71 Mittlere Fehlerhäufigkeit in einer Aufmerksamkeitstestung in den verschiedenen Messphasen an beiden Flughafenstandorten, L_{Aeq} jeweils über dem passenden Balkendiagramm (Munich Study).....	197
Abb. 72 Mittelwerte der Schlafqualität in den verschiedenen Messphasen an beiden Flughafenstandorten, Hohe Werte stehen für eine schlechtere Schlafqualität (Munich Study)	197
Abb. 73 Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Besorgnis und der Belästigung durch Lärm von Personen, die selbst angeben in einem bestimmten Bereich zu leben (vielfahrene Straße, Flughafen, Flugroute) (van den Berg et al., 2015).....	201
Abb. 74 Vorhergesagter prozentualer Anteil der Personen mit hohem Grad der Belästigung (%HA) in Abhängigkeit vom Alter (Amsterdam) (Fluglärm)	203
Abb. 75 Vorhergesagter prozentualer Anteil der Personen mit hohem Grad der	203
Abb. 76 Vorhergesagte Expositions-Wirkungskurven in Abhängigkeit vom Alter (Amsterdam) (Fluglärm).....	203
Abb. 77 Vorhergesagte Expositions-Wirkungskurven in Abhängigkeit vom Alter (international) (Flug-, Straßen-, Schienenlärm).....	203
Abb. 78 Zusammenhang zwischen Fluglärm und $L_{Aeq, 7-23 \text{ Uhr}}$ in den einzelnen kognitiven Testungen (Van Kempen E., 2010)	208
Abb. 79 Einfluß von Straßenverkehrslärm in $L_{Aeq, 7-23 \text{ Uhr}}$ auf die einzelnen kognitiven Testungen (Van Kempen E., 2010).....	208
Abb. 80 Anteil der stark durch Fluglärm an der Schule (links) und an der Wohnung (rechts) belästigter Kinder in verschiedenen Ländern, Fluglärm in $L_{Aeq7-23 \text{ Uhr}}$ (van Kempen et al., 2009)	210
Abb. 81 Anteil stark durch Straßenverkehrslärm belästigter Kinder in der Schule in verschiedenen Ländern, Straßenverkehrslärm in $L_{Aeq7-23 \text{ Uhr}}$ (van Kempen et al., 2009)	210
Abb. 82 Vergleich zwischen Eltern und Kindern in Bezug auf den Anteil stark belästigter Personen in verschiedenen Ländern, Fluglärm in $L_{Aeq7-23 \text{ Uhr}}$ (van Kempen et al., 2009).....	210
Abb. 83 Zusammenhang zwischen der Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm und den im NES untersuchten Testverfahren (van Kempen et al., 2010).....	212

Literaturverzeichnis

- Babisch W. (2002) *Praktische Umweltmedizin 09.03, Lärm*. Springer Verlag
- Babisch W. (2003) *Lärmwirkungen bei Kindern und Erwachsenen - Qualitätsziele. Abstractband für den öffentlichen Gesundheitsdienst*
- Babisch W. (2014) *Handbuch der Umweltmedizin, VII - 1, Lärm*
- Babisch W., Houthuijs D., Pershagen G., Cadum E., Katsouyanni K., Velonakis M., Dudley ML., Marohn HD., Swart W., Breugelmans O., Bluhm G., Selander J., Vigna-Taglianti F., Pisani S., Haralabidis A., Dimakopoulou K., Zachos I., Järup L. (2009) Annoyance due to aircraft noise has increased over the years- Results of the HYENA study. *Environment international*
- Babisch W., Pershagen G., Selander J., Houthuijs D., Breugelmans O., Cadum E., Vigna-Taglianti F., Katsouyanni K., Haralabidis A., Dimakopoulou K., Sourtzi P., Floud S., Hansell A. (2013) Noise annoyance - A modifier of the association between noise level and cardiovascular health? *Science of the Total Environment* (452-453/50-57)
- Bartels S., Marki F., Müller U. (2015) The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field - The COSMA study. *Science of the total Environment* (538: 834-843)
- Beutel M., Jünger C., Klein E., Wild P., Lackner K., Blettner M., Binder H., Michal M., Wiltink J., Brähler E., Münzel T. (2016) Noise Annoyance Is Associated with Depression and Anxiety in the General Population - The Contribution of Aircraft Noise. *PLOS one*
- Björkman M., Ahrlin U., Rylander R. (1992 Sep-Oct) Aircraft noise annoyance and average versus maximum noise levels. *Arch Environ Health*(47(5):326-9)
- Boes S., Nuesch S., Stillman S. (2013) Aircraft noise, health, and residential sorting: evidence from two quasi-experiments. *Health Econ* 22(9):1037–1051. doi: 10.1002/hec.2948
- Bonnefoy X., Kim R., Rodrigues C., Aznar N., Sachdeva D. (2009) Night Noise Guidelines for Europe
- Clark C., Crombie R., Head J., van Kamp I., Van Kempen E., Stansfeld S. (2012) Does Traffic-related Air Pollution Explain Associations of Aircraft and Road Traffic Noise Exposure on Children's Health and Cognition? A Secondary Analysis of the United Kingdom Sample From the RANCH Project. *American Journal of Epidemiology* (176(4):327-37)
- Clark C., Head J., Stansfeld S. (2013) Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: a sixyear follow-up of the UK RANCH cohort. *Journal of Environmental Psychology* (35):1–9
- Correia A., Peters J., Levy J., Melly S., Dominici F. (2013) Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study. *British Medical Journal*:1–11
- Crombie R., Clark C., Stansfeld SA. (2011) Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten year old children: a cross-sectional field study. *Environ Health* 10:39. doi: 10.1186/1476-069X-10-39
- Eikmann, T., Zur Nieden A., Lengler A., Harpel S., Ziedorn D., Bürger M, Pone-Kühnemann J., Römer K., Hudel., Spiłski J. (2015) NORAH: Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Blutdruckmonitoring. Wirkung chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen. Endbericht Band 5.
- Eriksson C., Bluhm G., Hilding A., Östenson CG., Pershagen G. (2010) Aircraft noise and incidence of hypertension – Gender specific effects. *Environmental Research* (110):764–772

- Eriksson C., Hilding A., Pyko A., Bluhm G., Pershagen G., Östenson CG. (2014) Long-Term Aircraft Noise Exposure and Body Mass Index, Waist Circumference, and Type 1 Diabetes: A Prospective Study. *Environmental Health Perspectives*
- Evrard A-S, Bouaoun L., Champelovier P., Lambert J., Laumon B. (2015) Does exposure to aircraft noise increase the mortality from cardiovascular disease in the population living in the vicinity of airports? Results of an ecological study in France. *Noise Health* 17(78):328–336. doi: 10.4103/1463-1741.165058
- Evrard A-S, Lefevre M., Champelovier P., Lambert J., Laumon B. (2016) Does aircraft noise exposure increase the risk of hypertension in the population living near airports in France? *Occup Environ Med*. doi: 10.1136/oemed-2016-103648
- Evrard A., Bouaoun L., Champelovier P., Lambert J., Laumon B. (2015) Does exposure to aircraft noise increase the mortality from cardiovascular disease in the population living in the vicinity of airports? Results of an ecological study in France. *Noise and Health*(17 (78): 328-336)
- Floud S., Vigna-Taglianti F., Hansell A., Blangiardo M., Houthuijs D., Breugelmans O., Cadum E., Babisch W., Selander J., Pershagen G., Antoniotti M., Pisani S., Dimakopoulou K., Haralabidis A., Velonakis V., Jarup L. (2011) Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study. *Occup Environ Med* (68: 518-24)
- Floud S., Blangiardo M., Clark C., de Hoogh K., Babisch W., Houthuijs D., Swart W., Pershagen G., Katsouyanni K., Velonakis M., Vigna-Taglianti F., Cadum E., Hansell A. (2013) Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: a cross-sectional study. *Environmental Health* (12: 89)
- Gille L-A, Marquis-Favre C., Morel J. (2016) Testing of the European Union exposure-response relationships and annoyance equivalents model for annoyance due to transportation noises: The need of revised exposure-response relationships and annoyance equivalents model. *Environment international* 94:83–94. doi: 10.1016/j.envint.2016.04.027
- Gjestland T., Gelderblom F., Granoien I. (2016) Noise surveys at five Norwegian airports
- Gjestland T., Nguyen TL., Yano T. (2015) Community response to noise in Vietnam: exposure-response relationships based on the community tolerance level. *J Acoust Soc Am* 137(5):2596–2601. doi: 10.1121/1.4919309
- Guoqing D., Xiaoyi L., Xiang S., Zhengguang L., Qili L. (2012) Investigation of the relationship between aircraft noise and community annoyance in China. *Noise and Health*(14:57 52-7)
- Guski R. SD (2015) Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld: Band 7: Gesamtbetrachtung des Forschungsprojektes NORAH. NORAH - Noise-related annoyance, cognition, and health
- Guski R., Basner M, Brink M. (2012) Gesundheitliche Auswirkungen nächtlichen Fluglärms: aktueller Wissensstand (Literaturauswertung)
- Hansell A., Blangiardo M., Fortunato L., Floud S., de Hoogh K., Fecht D., Ghosh R., Laszlo H., Pearson C., Beale L., Beevers S., Gulliver J., Best N., Richardson S., Elliott P. Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ* 2013(347):1–10
- Haralabidis A., Dimakopoulou K., Velonaki V., Barbaglia G., Mussin M., Giampaolo M., Selander J., Pershagen G., Dudley ML., Babisch W., Swart W., Karsouyanni K., Jarup L. (2011) Can exposure to noise affect the 24h blood pressure profile? Results from the HYENA study. *J Epidemiol Community Health*(65: 535-41)
- Haralabidis A., Dimakopoulou K., Vigna-Taglianti F., Giampaolo M., Borgini A., Dudley ML., Pershagen G., Bluhm G., Houthuijs D, Babisch W., Velonakis M., Katsouyanni K., Jarup L. (2008) Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European Heart Journal*(29: 658-664)

- Heudorf U (2008) Fluglärm und Gesundheit: Ergebnisse epidemiologischer Studien -
Literaturübersicht
- Holt JB., Zhang X., Sizov N., Croft JB. (2015) Airport noise and self-reported sleep insufficiency, United States, 2008 and 2009. *Prev Chronic Dis April*(12: E49):1–12
- Huss A., Spoerri A., Egger M., Rössli M. (2010) Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction. *Epidemiology*(21 (6): 829-836)
- Janssen S., Centen M., Vos H., van Kamp I. (2014) The effect of the number of aircraft noise events on sleep quality. *Applied Acoustics* (84: 9-16)
- Jarup L., Babisch W., Houthuijs D., Pershagen G., Katsouyanni K., Cadum E., Dudley ML., Savigny P., Seiffert I., Swart W., Breugelmans O., Bluhm G., Selander J., Haralbidis A., Dimakopoulou K., Sourtzi P, Velonakis M., Vigna-Taglianti F. (2008) Hypertension and Exposure to Noise Near Airports: the HYENA Study. *Environmental Health Perspectives* (116, 3, 329-33)
- Kastka J. FM Vorhersage von Belästigungsreaktionen auf Fluglärm durch Pegelüberschreitungsmaße. DAGA 1998, Fortschritte der Akustik
- Klatte K., Bergström K., Spilski J., Mayerl J., Meis M. NORAH: Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern. Endbericht Band 1.
- Klatte M., Spilski J., Mayerl J., Möhler U., Lachmann T., Bergström K. (2016) Effects of aircraft Noise on Reading and Quality of Life in Primary School Children in Germany: Results from the NORAH Study. *Environment and Behavior*
- Krog NH., Engdahl B., Tambs K. (2010) Effects of changed aircraft noise exposure on experiential qualities of outdoor recreational areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7(10):3739–3759. doi: 10.3390/ijerph7103739
- Kwak KM., Ju YS., Kwon YL., Chung YK., Kim BK., Kim H., Youn K. (2016) The effect of aircraft noise on sleep disturbance among the residents near a civilian airport: a cross-sectional study. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*(28:38)
- Laussmann D., Haftenberger M., Lampert T., Scheidt-Nave C. (2013) Social inequities regarding annoyance to noise and road traffic intensity: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1) (Soziale Ungleichheit von Lärmbelastung und Strassenverkehrsbelastung: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1)). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 56(5-6):822–831. doi: 10.1007/s00103-013-1668-7
- Matheson M., Clark C., Martin R., van Kempen E., Haines M., Lopez Barrio I., Hygge S., Stansfeld S. (2010) The effects of road traffic and aircraft noise exposure on children's episodic memory: The RANCH Project. *Noise and Health Oct-Dec* (12:49, 244-54)
- Miedema HM VH (1998) Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am*(104(6): 3432-45)
- Müller U., Aeschbach D., Elmenhorst EM., Mendolia F., Quehl J., Hoff A., Rieger I., Schmitt S., Littel W. (2015) NORAH: Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Fluglärm und nächtlicher Schlaf. Endbericht Band 4.
- Pearson T., Campbell MJ., Maheswaran R. (2016) Acute effects of aircraft noise on cardiovascular admissions- an interrupted time-series analysis of six-day closure of London Heathrow Airport caused by volcanic ash. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* (18):38–43
- Perron S., Plante C., Ragettli MS., Kaiser DJ., Goudreau S., Smargiassi A. (2016) Sleep Disturbance from Road Traffic, Railways, Airplanes and from Total Environmental Noise Levels in Montreal. *Int J Environ Res Public Health*(13 (8))

- Ragetti MS., Goudreau S., Plante C., Perron S., Fournier M., Smargiassi A. (2016) Annoyance from Road Traffic, Trains, Airplanes and from Total Environmental Noise Levels. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13(1). doi: 10.3390/ijerph13010090
- Reichl F-X (2011) *Moderne Umweltmedizin*. Lehmanns media
- Schack K. GA (2015) *Umweltbewusstsein in Deutschland 2014*
- Schmidt F., Basner M., Kröger G., Weck, Schnorbus B., Muttray A., Sariyar M., Binder H., Gori T., Warnholtz A., Münzel T. (2013) Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. *European Heart Journal* (34, 3508-3514)
- Schmidt F., Kolle K., Kreuder K., Schnorbus B., Wild P., Hechtner M., Binder H., Gori T., Münzel T. (2015) Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease. *Clin Res Cardiol* (104 (1)):23–30
- Schreckenber D., Griefahn B., Meis M. (2010) The associations between noise sensitivity, reported physical and mental health, perceived environmental quality, and noise annoyance. *Noise Health* 12(46):7–16. doi: 10.4103/1463-1741.59995
- Schreckenber D., Meis M., Kahl C., Peschel C., Eikmann T. (2010) Aircraft Noise and Quality of Life around Frankfurt Airport. *International Journal of Environmental Research and Public Health* (7: 3382-3405)
- Schreckenber D., Faulbaum F., Guski R., Ninke L., Peschel C., Spilski J., Wothge J. (2015) NORAH: Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. *Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität*. Endbericht Band 3.
- Schreckenber D., Wothge J., Möhler U., Guski R. (2016) *Belästigungswirkung der Kombination von Fluglärm mit Straßen- oder Schienenverkehrslärm - Eine Untersuchung im Rahmen des NORAH-Forschungsverbundprojektes*. DAGA
- Seabi J., Cockcroft K., Goldschagg P., Greyling M. (2012) The impact of aircraft noise exposure on South African children's reading comprehension: the moderating effect of home language. *Noise Health* 14(60):244–252. doi: 10.4103/1463-1741.102963
- Seabi J. (2013) An Epidemiological Prospective Study of Children's Health and Annoyance Reactions to Aircraft Noise Exposure in South Africa. *Int J Environ Res Public Health*(10(7) 2760-77)
- Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Pons-Kühnemann J., Swart E., Zeeb H., Hebewald J. (2016) Herzinfarktisiko durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm - Ergebnisse einer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie. *Deutsches Ärzteblatt Int* (113: 407-14)
- Seidler A., Wagner M., Schubert M., Dröge P., Hegewald J. (2015) NORAH: Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. *Erkrankungsrisiken*. Endbericht 6.
- Selander J., Bluhm G., Theorell T., Pershagen G., Babisch W., Seiffert I., Houthuijs D., Breugelmans O., Vigna-Taglianti F., Antoniotti MC., Veonakis E., Davou E., Dudley ML., Järup L. (2009) Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. *Environmental Health Perspectives* (117, 11: 1713-7)
- Sorensen M., Harbo Poulsen A., Ketzler M., Oksbjerg Dalton S., Friis S., Raaschou-Nielsen O. (2015) Residential exposure to traffic noise and risk for non hodgkin lymphoma among adults. *Environmental Research* (142: 61-65)
- Stansfeld S., Berglund B., Clark C., Lopez-Barrio I., Fischer P., Öhrström E., Haines M., Head J., Hygge S., van Kamp I., Berry B. (2005) Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet* (365):1942–1949
- Stansfeld S., Clark C., Cameron R., Alfred T., Head J., Haines M., van Kamp I., van Kempen E., Lopez-Barrio I. (2009) Aircraft and road traffic noise exposure and children's mental health. *Journal of Environmental Psychology* (29: 203-207)

- Stansfeld S., Hygge S., Clark C., Alfred T. (2010) Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. *Noise and Health*(12:49, 255-62)
- van den Berg F., Verhagen C., Uitenbroek D. (2015) The relation between self-reported worry and annoyance from air and road traffic. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(3):2486–2500. doi: 10.3390/ijerph120302486
- Van Gerven P., Vos H., Van Boxtel M., Janssen S., Miedema H. (2009) Annoyance from environmental noise across the lifespan. *J Acoust Soc Am* (126 (1) 187-194)
- Van Kempen E., Van Kamp I., Nilsson M., Lammers J., Emmen H., Clark C., Stansfeld S (2010) The role of annoyance in the relation between transportation noise and children's health and cognition. *J Acoust Soc Am*(128 (5): 2817-28)
- Van Kempen E., Van Kamp I., Lebrecht J., Emmen H., Standfeld S. (2010) Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study. *Environmental Health* (9: 25)

